LIVRE BLANC COVÉA

Changement climatique & Assurance : **Quelles conséquences sur la sinistralité à horizon 2050 ?**

JANVIER 2022





VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

LIVRE BLANC COVÉA

Changement climatique & Assurance : **Quelles conséquences sur la sinistralité à horizon 2050 ?**

JANVIER 2022

PRÉFACE × PAUL ESMEIN

Covéa est fier de vous présenter ce livre blanc sur la modélisation des risques climatiques. Cette étude exclusive, résultat de travaux engagés depuis dix ans déjà par le Groupe, est réalisée par les équipes de la Direction IARD, en collaboration avec la société RiskWeatherTech.

La COP 26 nous a rappelé une fois encore l'ampleur du défi que représente le changement climatique pour l'avenir de la planète.

En tant qu'assureur, Covéa est aux premières loges pour en observer et en mesurer les conséquences : la charge de sinistres du marché français a d'ores et déjà triplé depuis la fin des années 80 ; et toutes les projections montrent que ce phénomène s'amplifiera encore fortement dès la prochaine décennie.

Cette situation nous oblige à agir concrètement, sans attendre que les solutions viennent des seuls États. Nous sommes, en effet, tous interpellés, nous dirigeants d'entreprises, salariés, citoyens, parents... Et nous devons agir pour limiter au maximum le réchauffement climatique d'ici la fin du siècle et tenir les engagements des accords de Paris.

Covéa est depuis longtemps pleinement investi dans la lutte contre le changement climatique. Par conviction d'abord, parce que la recherche de solutions est notre ADN d'assureur mutualiste engagé. Par esprit de responsabilité aussi, en tant que leader français en assurance auto et habitation.

Pour un groupe d'assurance, les leviers d'action sont multiples. Il est nécessaire d'agir sur nos propres émissions, en visant une trajectoire bas-carbone pour nos activités au quotidien. Il convient également de faire évoluer nos politiques d'investissement, en retenant l'impact environnemental comme un critère systématique lors de la prise de décision. Il faut enfin agir sur notre activité d'assurance, au service de nos sociétaires, en promouvant par exemple la réparation plutôt que le remplacement, lorsque cela est pertinent, et en favorisant l'utilisation de pièces de réemploi. Toutes ces actions sont au cœur de notre nouveau plan stratégique.

Notre responsabilité consiste à regarder le monde qui nous entoure avec lucidité et pragmatisme. Pour agir efficacement, nous devons comprendre et prévoir, notamment en modélisant de la manière la plus fine possible l'impact que devra avoir le changement climatique sur nos sociétés. Ce constat n'est certainement pas réjouissant, mais il est fondamental et indispensable. Car, si les modélisations comportent par nature même une part d'incertitude, elles seules permettent d'appréhender les adaptations que nous devrons mettre en place, et plus spécifiquement les dispositifs de prévention.

Covéa investit depuis plus d'une décennie dans la modélisation des risques climatiques, et plus particulièrement des phénomènes extrêmes. Ce Livre blanc en est une traduction. Notre ambition est de poursuivre ces travaux de recherche, afin de pouvoir continuer à protéger nos sociétaires de manière durable. C'est une priorité du Groupe pour les années à venir.

PAUL ESMEIN
Directeur général adjoint de Covéa

PRÉFACE × VINCENT MORON

La responsabilité de l'Homme comme acteur potentiel de la variabilité climatique contemporaine a été évoquée dès la fin du 19ème siècle, via la réponse à un doublement de la concentration atmosphérique en CO_2, bien avant que la température moyenne planétaire ne se mette à significativement augmenter. D'abord de façon assez limitée avant les années 1940, puis de façon plus intense depuis les années 1970 - la température moyenne planétaire ayant augmenté d'environ 1°C depuis cette date. Ce réchauffement planétaire est désormais bien établi et la responsabilité humaine est également avérée. Les forçages naturels pertinents à une échelle de quelques décennies (énergie solaire, volcanisme massif) sont ainsi totalement incapables d'expliquer la tendance thermique positive depuis 50 ans. Des chercheurs, comme Wallace Broecker, alertaient dès 1975 sur le réchauffement inéluctable et massif issu des fortes émissions de dioxyde de carbone que la biosphère terrestre et l'océan ne pouvaient pas absorber en totalité. Depuis, les projections climatiques se sont affinées. Nous avons désormais un recul de plus de 30 ans sur les premières simulations climatiques initiées en 1990 avec le seul forçage anthropique, alors projeté de façon assez frustre. Ces projections se sont avérées remarquablement justes du point de vue du réchauffement moyen planétaire, mais aussi des conséquences directement induites, comme l'élévation du niveau marin moyen, même si elles sous-estiment l'amplitude de cette dernière. Les derniers scénarios sont évidemment plus précis et nous avons désormais une évaluation très claire à la fois de la qualité de ces climats futurs possibles et des différents climats envisageables jusqu'à la fin du 21ème siècle.

Nous sommes désormais engagés dans une gestion environnementale de grande ampleur impliquant toute la société et visant à la fois à limiter nos émissions en gaz à effet de serre, à s'adapter à des changements inéluctables du fait au moins de l'inertie du système climatique et à tenter de trouver des solutions technologiques innovantes en vue de retirer des gaz à effet de serre désormais en excès dans l'atmosphère.

Le réchauffement climatique pourrait sembler anodin à l'échelle individuelle, notamment par rapport à des variations cycliques comme l'alternance jour-nuit et hiver-été qui sont d'une ampleur bien plus importante dans nos contrées. Seulement, et ce livre blanc vient à point nommé, un réchauffement relativement lent, mais monotonique à l'échelle de quelques décennies au moins, modifie profondément la probabilité d'occurrence de divers aléas, par définition rares, mais qui ont des conséquences parfois dramatiques pour la société et/ou l'environnement. Et le secteur de l'assurance est en première ligne.

Le livre blanc Covéa illustre bien qu'un réchauffement, même limité en amplitude, augmente la probabilité de certains extrêmes. Certains peuvent être triviaux comme la sécheresse, puisqu'un air plus chaud augmente la demande évaporatoire de l'air. D'autres effets sont moins directement induits, mais néanmoins bien avérés désormais, comme le lien entre le réchauffement et la probabilité d'observer à la fois plus de séquences sèches mais aussi plus de pluies extrêmes, qui ont des conséquences dommageables multiples sur de très nombreux secteurs économiques. Bien entendu, les premiers efforts, même modestes, partiels et insuffisamment ambitieux, de gestion du réchauffement climatique anthropique, comme par exemple le protocole de Kyoto signé en 1997, ont montré que le scénario du pire n'était pas forcément celui que nous avons suivi. Nous sommes désormais engagés dans un programme plus ambitieux en lien avec l'accord de Paris signé en 2015 et nous pouvons encore espérer que le scénario RCP 8.5 évoqué dans ce livre blanc ne soit finalement pas celui qui adviendra. Néanmoins, il paraît raisonnable de se fixer sur ce scénario du pire afin d'évaluer et d'anticiper les changements les plus radicaux dans les probabilités de différents risques climatiques et ainsi d'alerter la communauté des assureurs sur l'ampleur possible des conséquences sectorielles du réchauffement climatique dans un avenir finalement pas si éloigné…

VINCENT MORON
Professeur des Universités – à l'université d'Aix-Marseille 1
Chercheur au Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE)
& chercheur associé à l'Université de Columbia, IRI, New-York

TABLE DES MATIÈRES

Introduction 10

Les projections climatiques et démographiques 12

Le risque inondation 18

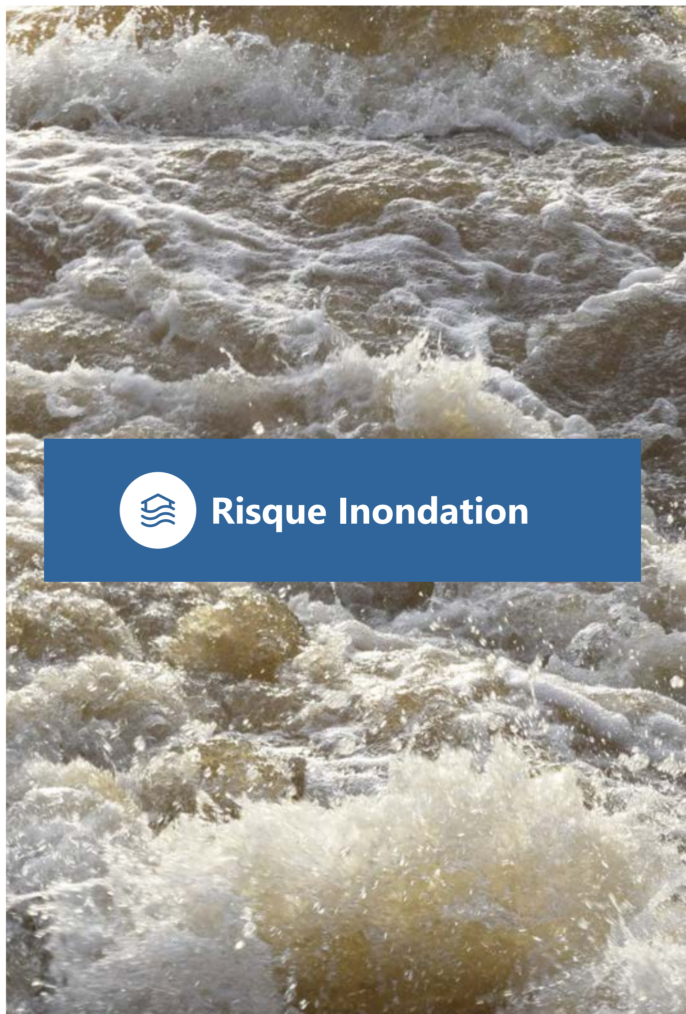
Le risque tempête 24

Le risque sécheresse 28

Le risque grêle 34

Conclusion 39

Références bibliographiques 42




Risque Inondation




Risque Tempête




Risque Sécheresse




Risque Grêle

INTRODUCTION

Le changement climatique est désormais sans équivoque, cette observation est confortée par le large consensus scientifique autour des travaux du GIEC [1]. Pour les assureurs, la prise en compte des risques liés au changement climatique se révèle être l'un des principaux challenges des prochaines décennies dans l'évaluation et la gestion de leurs actifs et de leurs passifs.

« *Le changement climatique est un risque systémique pour le monde entier. Contrairement à la crise du Covid-19, il n'a pas de date d'expiration.* »

JÉRÔME JEAN HAEGELI
Chef économiste du réassureur Swiss Re

Dans ce contexte évolutif du climat, les passifs des assureurs seront directement affectés par l'augmentation de la sinistralité liée à la recrudescence des événements météorologiques, que ce soit au travers de grandes catastrophes (cyclones tropicaux, tempêtes) ou de phénomènes moins spectaculaires mais plus récurrents (inondations, sécheresse). Toutefois, l'évolution du climat futur est sujette à une forte incertitude quant aux trajectoires d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) proposées par le GIEC qui sont fortement dépendantes des activités socio-économiques et des politiques d'atténuation mises en place. Dans le cadre des accords de Paris datant de 2015 (COP21), les États signataires devaient s'engager à limiter à moins de 2°C le réchauffement global, or aujourd'hui ce scénario est déjà abandonné. Le scénario le plus pessimiste reste le plus probable avec une hausse de la température globale de l'ordre de +2,4°C à l'horizon 2050 et +4,8°C à l'horizon 2100.

A l'échelle mondiale, la décennie 2011-2020 est considérée comme la plus chaude jamais observée par la communauté scientifique. C'est également la décennie qui a enregistré la plus forte sinistralité sur le segment des dommages aux biens [2]. Ce constat se vérifie très largement en France métropolitaine qui connaît depuis 2015 une hausse drastique de la sinistralité liée aux événements naturels, prémices des effets du changement climatique [3]. En 2015, des inondations torrentielles ont frappé la Côte d'Azur et la région de Cannes après le passage d'orages diluviens occasionnant des dommages pour un montant de plus de 500 millions d'euros pour le marché français. En Juin 2016, une crue exceptionnelle de la Seine génère plus d'1 milliard d'euros de dommages. L'année 2017 restera comme une année exceptionnelle en termes de sinistralité avec le passage de deux cyclones de catégorie 5 (Irma et Maria) sur les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélémy pour un coût supérieur à 2 milliards d'euros. 2018, 2019 et 2020 sont marquées par une succession de sécheresses exceptionnelles sur le territoire métropolitain. Le montant de la sinistralité, pour le marché, est estimé à près de 1,3 milliard d'euros pour la sécheresse de 2018 et à environ 1,1 milliard d'euros pour celle de 2020.
L'augmentation de la fréquence des sinistres et de leurs coûts incite à s'interroger sur la gouvernance, la gestion et l'évaluation des risques liés au changement climatique dans la stratégie des compagnies d'assurance, en matière d'orientation des politiques de tarification, de souscription, de couverture et capacité de réassurance.

En 2020, cette préoccupation croissante du risque climatique a conduit au lancement d'un exercice prospectif dit de « stress test climatique » par l'Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR), associant les principaux groupes bancaires et organismes d'assurance. Cet exercice inédit avait pour ambition d'évaluer la sensibilisation et l'appétence de la place financière de Paris dans la gestion et l'intégration des risques liés au changement climatique pour s'assurer de leur stabilité financière. Dans la continuité, l'EIOPA, autorité de contrôle à l'échelon européen, a également lancé une consultation sur l'intégration du risque climatique dans les scénarios ORSA auprès des assureurs européens.

Depuis 2011, Covéa se positionne à l'avant-garde et est particulièrement proactif sur les problématiques liées aux risques climatiques. Une équipe d'experts pluridisciplinaires (géographes, climatologues, géomaticiens, data scientists…) a été constituée pour développer une gamme d'outils innovants - Coventéo - destinée à modéliser les risques climatiques et les dommages afin d'assurer une maîtrise de nos expositions. Dans les modèles initiaux, les hypothèses de fréquence et d'intensité des aléas se sont basées sur les observations historiques du climat des cinquante dernières années. Aujourd'hui, l'implémentation du changement climatique apparaît comme une évidence mais surtout une nécessité.

Sous l'effet du changement climatique, **comment les fréquences et les intensités des aléas naturels vont-elles évoluer à l'horizon 2050 ? Quelles en seront les conséquences sur l'évolution des dommages assurés ?**

Pour répondre à cette question, Covéa et la société RiskWeatherTech se sont associés pour mener une étude visant à quantifier les évolutions attendues des dommages assurés pour les périls inondation, sécheresse, grêle et tempête sous l'effet du changement climatique à l'horizon 2050.





LES PROJECTIONS CLIMATIQUES & DÉMOGRAPHIQUES



L’analyse du changement climatique et de ses conséquences sur les dommages assurés nécessite la prise en compte à la fois des évolutions de l’aléa mais également des enjeux (exposition du portefeuille).

Ainsi, les projections climatiques et hydro-climatiques permettront de quantifier l’évolution future de 4 aléas naturels (Tempête, Sécheresse, Inondation et Grêle) et les projections démographiques celle des biens assurés. Les différents jeux de données sont détaillés dans les pages suivantes.



→ LES SCÉNARIOS DE CONCENTRATION DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

L'analyse de l'évolution du climat repose sur des simulations réalisées avec des modèles climatiques globaux puis régionaux en réponse à des forçages naturels ou anthropiques. Modéliser le climat futur consiste donc à émettre des hypothèses sur l'évolution des émissions anthropiques de GES au cours des prochaines décennies. L'évolution des émissions anthropiques est multifactorielle, elle va ainsi dépendre de la croissance démographique, du développement socio-économique, des évolutions technologiques, des politiques climatiques. Dans le cadre du 5ème Rapport du GIEC, les scientifiques ont défini *a priori* 4 trajectoires d'émission et de concentration de gaz à effet de serre baptisées RCP (« *Representative Concentration Pathways* » ou « Profils représentatifs d'évolution de concentration ») - [**Figure 1**]. Les 4 RCP se répartissent entre 2 scénarios extrêmes (RCP 2.6 et RCP 8.5) et 2 scénarios intermédiaires (RCP 4.5 et RCP 6.0) :

- Le RCP 2.6 décrit un monde vertueux, bas carbone, dans lequel le réchauffement de la planète reste inférieur à 2°C par rapport aux températures préindustrielles.
- Les scénarios 4.5 et 6.0 décrivent des trajectoires intermédiaires dans lesquelles les émissions continuent de croître pendant quelques décennies puis se stabilisent avant la fin du 21ème siècle, puis décroissent.
- **Le RCP 8.5 décrit un monde sans régulation des émissions de GES menant à une hausse globale de la température planétaire de +5°C d'ici 2100. Au regard des politiques actuelles et de la hausse de la température globale déjà observée, nous retiendrons ce scénario pour cette étude.**

→ LES SIMULATIONS CLIMATIQUES RÉGIONALISÉES EURO-CORDEX

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé les simulations climatiques régionales EURO-CORDEX[4], qui couvrent toute l'Europe. Les projections climatiques régionales EURO-CORDEX ont été réalisées dans le cadre du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC), qui a coordonné au niveau international les laboratoires de recherche sur le climat pour produire des projections climatiques régionales sur toutes les régions terrestres du monde. Elles sont guidées par des simulations climatiques globales de CMIP5 (« Coupled Model Intercomparison Project » - Phase 5), réalisées dans le cadre des travaux du GIEC[1]. Elles ont une résolution spatiale de ~12 km.

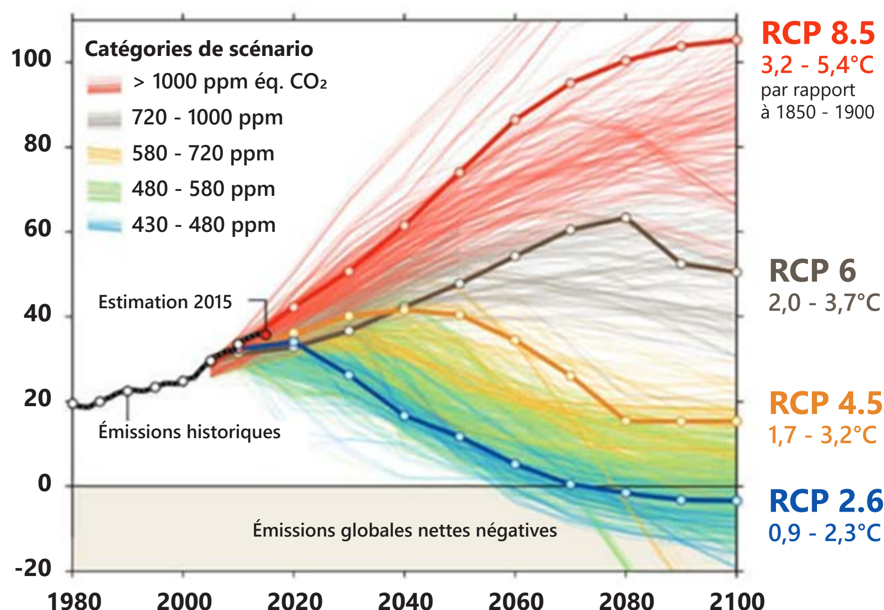


FIGURE 1

ÉMISSIONS ISSUES DES COMBUSTIBLES FOSSILES ET CIMENTS ($GtCO_2$/AN)

Évolution des émissions entre 1980 et 2100, selon les différents scénarios disponibles.
Les 4 scénarios sélectionnés dans le cadre du 5ème rapport du GIEC (RCP) sont mis en évidence.

Données : CDIAC/GCP/IPCC/Fuss et al 2014



Dans cette étude, les projections retenues ont été réalisées sous le scénario d'émission de gaz à effet de serre RCP 8.5, correspondant à une absence de politique concrète de réduction des émissions de GES de la part des États.

Pour chacun des aléas étudiés, un jeu de projections climatiques régionales d'EURO-CORDEX a été sélectionné, pour lequel les indicateurs climatiques nécessaires pour analyser l'aléa étaient disponibles :

- un jeu de 9 projections climatiques régionales de précipitations journalières corrigées de leur biais pour les inondations ;
- un jeu de 6 projections climatiques régionales des indicateurs nécessaires pour estimer le risque de grêle ;
- un jeu de 6 projections climatiques régionales de rafales de vents journaliers pour les tempêtes ;
- un jeu de 11 projections climatiques régionales de l'indice du contenu en eau du sol pour la sécheresse.

Chaque projection climatique régionale EURO-CORDEX est réalisée avec un binôme formé d'un modèle climatique global (GCM) et d'un modèle climatique régional (RCM). La liste des modèles climatiques régionaux et globaux utilisés dans cette étude est donnée dans le tableau suivant :



MODÈLE CLIMATIQUE GLOBAL			MODÈLE CLIMATIQUE RÉGIONAL			ALÉA CLIMATIQUE			
GCM	Institut	Pays	RCM	Institut	Pays	Inondation	Sécheresse	Tempête	Grêle
CNRM-CMS	CNRM	France	ARPEGE51	CNRM	France	•	•		
			ALADIN63	CNRM	France		•	•	
			CCLM4-8-17	CLMcom	International		•	•	
			RCA4	SMHI	Suède	•			
EC-EARTH	Ichec	Europe	HIRHAM5_V1	DMI	Danemark	•	•		
			CCLM4-8-17	CLMcom	International	•			
			RACMO22E	KNMI	Pays-Bas			•	
HadGEM2-ES	MOHC	Royaume-Uni	RegCM4-6	ICTP	Italie				•
			HIRHAM5_V1	DMI	Danemark		•		
			CCLM4-8-17	CLMcom	International	•	•		
IPSL-CM5A-MR	IPSL	France	WRF331F	IPSL	France	•			
			RACMO22E	KNMI	Pays-Bas	•	•	•	
			REMO2015	GERICS	Allemagne		•		
			CCLM4-8-17	CLMcom	International				
MPI-ESM-LR	MPI	Allemagne	REMO2009	GERICS	Allemagne	•			
			CCLM4-8-17	CLMcom	International	•	•	•	
			COSMO-crCLIM-R1	ETHzürich	Suisse				•
			COSMO-crCLIM-R2	ETHzürich	Suisse				•
			RegCM4-6	ICTP	Italie				•
			ALADIN63	CNRM	France		•		•
Nor-ESM1-M	NMI	Norvège	COSMO-crCLIM	ETHzürich	Suisse				•
			HIRHAM5_v1	DMI	Danemark	•			
			REMO2015	GERICS	Allemagne		•	•	

TABLE 1 – Tableau récapitulatif des modèles climatiques globaux et régionaux du projet EURO-CORDEX retenus pour notre étude.



La plupart du temps, les projections climatiques ne peuvent pas être utilisées directement pour les études d'impact à des échelles fines. En effet, ces dernières sont entachées de biais par rapport aux observations. Il est alors indispensable d'utiliser des méthodes de corrections statistiques des simulations climatiques afin de pouvoir comparer les résultats des projections avec le climat actuel ou passé. Les facteurs de correction sont estimés à partir des observations et des simulations du climat actuel, avec des méthodes de type quantile à quantile ou CDF-t[5]. Ils sont alors appliqués aux projections climatiques, considérant que les biais propres à chaque modèle sont identiques sur le climat actuel et la projection future.

L'approche multi-modèles (MM) présente plusieurs avantages en termes d'objectivité et d'exhaustivité puisqu'elle tient compte de toutes les évolutions possibles du climat, chacun des modèles apportant une part de réalisme. Le MM sert également à filtrer les erreurs individuelles de chacun des modèles. Dans la suite des analyses, aucun poids spécifique n'a été attribué aux différents modèles, permettant ainsi de mesurer le consensus entre le panel de modèles. Cette approche dite « *one model, one vote* »[6] permet de tenir compte de la diversité des modèles et de raisonner sans *a priori*. Les modèles que nous avons retenus n'ont pas tous la même variabilité interne ou sensibilité. Ils ne réagissent pas non plus de manière similaire au changement climatique et certains pourront simuler un climat futur plus sec ou plus humide tirant ainsi le MM à la hausse ou à la baisse. Un inconvénient de l'approche MM est de lisser le signal climatique de chacun des modèles et d'en réduire la variabilité. Dans cette étude, 2 périodes temporelles ont été sélectionnées pour représenter le changement climatique : la période de référence ou « climat actuel » décrit l'évolution historique des paramètres climatiques entre 1970 et 2005 **[REF | 1970-2005] et la période future ou « climat futur » représentera le climat simulé sur un horizon moyen [2030-2070] pour l'horizon 2050.**

→ LES PROJECTIONS HYDRO-CLIMATIQUES DU PROJET SWICCA

Ce jeu de simulations a été réalisé par l'institut de météorologie suédois (SMHI - *Swedish Meteorological and Hydrological Institute*) en collaboration avec le programme européen Copernicus. Le projet SWICCA a pour ambition d'analyser l'impact du changement climatique sur le débit des rivières à partir de 4 simulations régionales climatiques EURO-CORDEX et 3 modèles hydrologiques **[Table 2]**. Les paramètres climatiques (précipitations, température, vent, évapotranspiration…) des simulations EURO-CORDEX sont injectés dans les différents modèles hydrologiques afin d'estimer des indicateurs hydrologiques, tels que la durée de crue, les débits moyens par mois, l'humidité des sols et les débits de pointe. Dans cette étude, nous avons étudié les variations des débits de crues pour un ensemble de périodes de retour (2, 5, 10, 50 et 100 ans) à l'horizon 2050.

TABLE 2 – Liste des modèles climatiques EURO-CORDEX et hydrologiques SWICCA utilisés pour l'analyse inondation.

MODÈLE CLIMATIQUE GLOBAL			
Modèles hydrologiques	GCM	RCM	Institut
E-Hypev3.1.2	EC-EARTH	RCA4	SMHI
	EC-EARTH	RACMO223	KNMI
	HadGEM2-ES	RCA4	SMHI
	MPI-ESM-LR	REMO2009	CSC
VIC-4.2.1.g	EC-EARTH	RCA4	SMHI
	EC-EARTH	RACMO223	KNMI
	HadGEM2-ES	RCA4	SMHI
	MPI-ESM-LR	REMO2009	CSC
Lisflood	EC-EARTH	RCA4	SMHI
	EC-EARTH	RACMO223	KNMI
	HadGEM2-ES	RCA4	SMHI
	MPI-ESM-LR	REMO2009	CSC

→ LES PROJECTIONS HYDRO-CLIMATIQUES DU PROJET CLIMSEC

Des projections hydro-climatiques ont été réalisées dans le cadre du projet CLIMSEC[7] afin de caractériser l'évolution des sécheresses sous changement climatique. Elles viennent compléter l'utilisation des 11 simulations EURO-CORDEX. Les simulations régionalisées, issues du modèle de circulation générale Arpège-Climat v4.6 (CNRM-Météo France) sous scénarios d'évolution des GES et désagrégées statistiquement à une échelle spatiale de 8 km^2, ont été utilisées pour forcer la chaîne hydrométéorologique Safran-Isba-Modcou et obtenir un indicateur mensuel d'humidité du sol (SWI). Le SWI demeure l'indicateur de suivi des sécheresses de référence dans le cadre du régime des catastrophes naturelles. Plusieurs scénarios socio-économiques, caractérisant les politiques climatiques suivies et leurs conséquences en matière d'évolution des concentrations en gaz à effet de serre ont été forcés dans le modèle Arpège-Climat à partir de 2000[8]. Dans cette étude le scénario SRES-A2 a été retenu.



Les différents paramètres climatiques simulés par ces multiples modèles de climat ont permis d'alimenter la gamme d'outils de modélisation des dommages assurés – Coventéo – développés par Covéa [**Figure 2**].

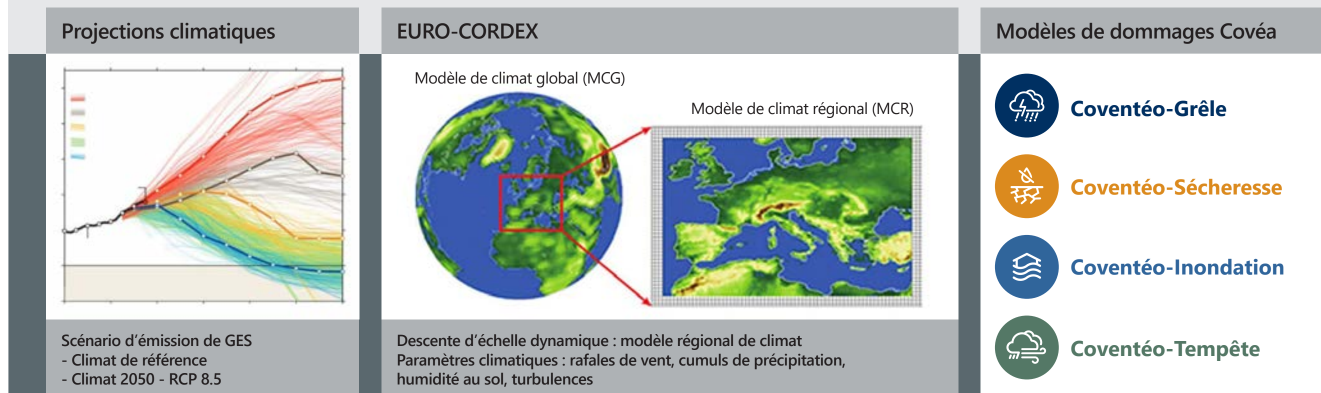


FIGURE 2 – Chaîne de modélisation des dommages assurés

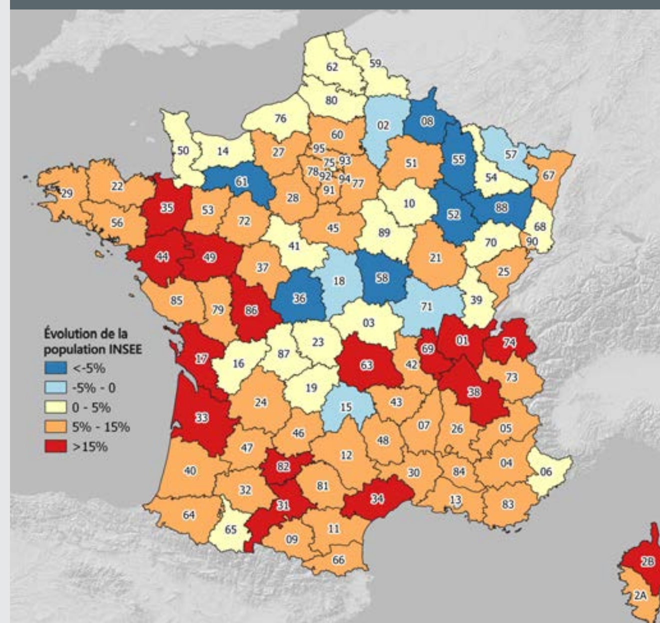
→ LES PROJECTIONS DÉMOGRAPHIQUES DE L'INSEE À HORIZON 2050

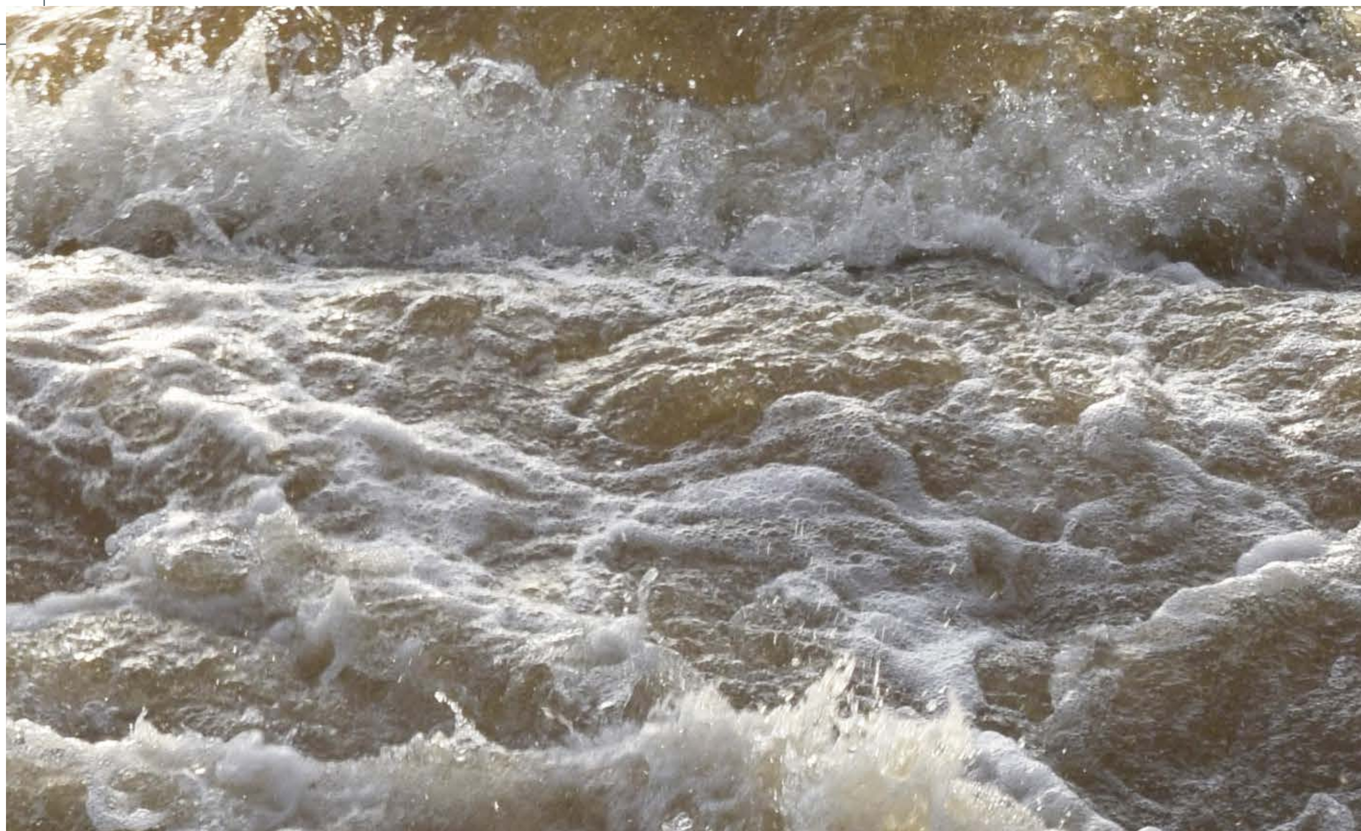
Les projections sont fondées sur le modèle Omphale[9] qui utilise les données de populations par sexe et âge au 1er janvier 2013 issues du recensement de la population. Ensuite, des projections sont réalisées sur toutes les zones géographiques de plus de 50 000 habitants. Dans les faits, le modèle Omphale applique des quotients d'émigration entre zones de départ et zones d'arrivée, ainsi que des quotients de fécondité et de mortalité mesurés sur la zone considérée pour chaque sexe et chaque âge. Les divers quotients sont calculés en 2013 sur la zone. Par la suite, ils évoluent comme le niveau national qui prolonge les dernières tendances de fécondité et de mortalité. 3 scénarios (« bas », « central » et « haut ») d'évolution de la population à horizon 2050 ont été envisagés. Le scénario « central » a été retenu [**Figure 3**] et se base sur les hypothèses suivantes :

- L'indicateur conjoncturel de fécondité baisse légèrement, de 0,04, jusqu'en 2016, puis il est maintenu constant jusqu'en 2050.
- La mortalité baisse au même rythme qu'au niveau national où l'espérance de vie atteindrait 86,8 ans pour les hommes et 90,3 ans pour les femmes en 2050.
- Les quotients migratoires entre zones, calculés à partir du recensement de 2013, sont maintenus constants sur toute la période de projection. Ils reflètent les échanges de population entre une zone et chacune des autres, y compris pour les départements d'outre-mer (hors Mayotte).

À noter que l'évolution des enjeux assurés en 2050 a été appréhendée uniquement sous le prisme des projections démographiques et de leur dynamique spatiale. Aucune hypothèse telles que l'inflation ou la croissance de l'activité, n'a été appliquée pour estimer l'évolution des valeurs assurées.

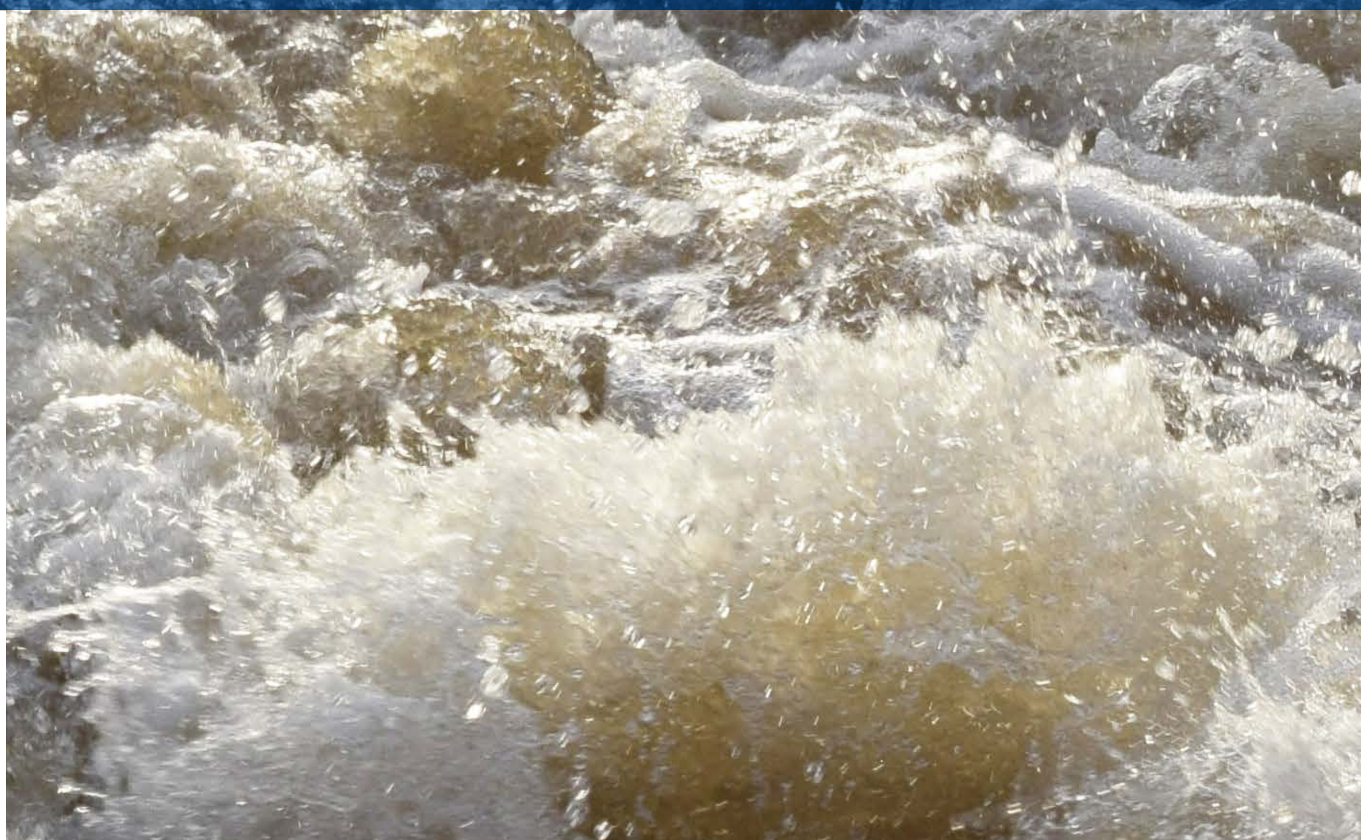
FIGURE 3 – Projection départementale de la population à l'horizon 2050 selon le scénario médian de l'INSEE







LE RISQUE INONDATION



Le risque inondation représente
le 1er pôle d'indemnisation au titre
du régime des Catastrophes Naturelles,
avec 21,6 milliards d'euros d'indemnisation
cumulée entre 1982 et 2020.
En France, il existe 2 principaux types
d'inondation provoqués par des
événements météorologiques différents :
les crues lentes de plaine et les crues torrentielles ou crues-éclairs («*Flash Flood*»).

Lorsque des pluies abondantes et/ou durables surviennent, le débit des cours d'eau augmente et cela peut entraîner le débordement des eaux. L'inondation de plaine est la submersion d'une zone par suite du débordement des eaux d'un cours d'eau de plaine, généralement suite à une période de pluies durables. Les crues torrentielles sont générées par des précipitations intenses et brèves dans le temps (< 24h). Elles sont caractérisées par une montée des eaux très rapide.



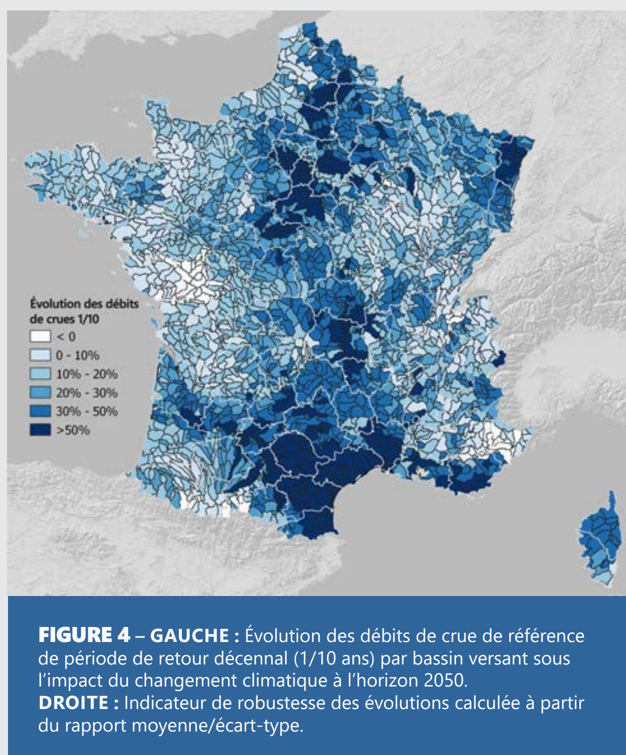
→ ÉVOLUTION DU RISQUE D'INONDATION DE PLAINE

Les crues de plaine sont le fruit de pluies récurrentes sur une longue période (quelques semaines) qui peuvent se cumuler avec la fonte des neiges sur les reliefs. Ces séquences pluviométriques provoquent des inondations dites « lentes » qui apparaissent en quelques jours et sont ensuite relativement longues. Pour étudier l'évolution de ce type de crues, il convient de procéder à une modélisation hydrologique des bassins versants, forcée par des séquences pluviométriques plus ou moins longues.

Pour répondre à cette problématique, les simulations hydro-climatiques du projet SWICCA permettent d'avoir une approche multi-modèles climatique et hydrologique, et de réduire ainsi l'incertitude liée à la modélisation sur les tendances projetées.

L'évolution des débits de crue de référence est cartographiée pour la période de retour de 10 ans à l'horizon 2050 sous le scénario RCP 8.5 [**Figure 4**]. Cette durée de retour correspond au seuil retenu par la commission interministérielle pour établir le caractère anormal d'une inondation. Une tendance généralisée à l'augmentation des débits est observée sur la France avec des augmentations très importantes (> 30 %) dans le Sud de la France mais aussi dans un large quart Nord-Est (bassins versant de la Seine, de la Saône, de la Moselle et du Rhin). Les façades maritimes de l'Atlantique et de la Manche devraient connaître des augmentations modérées. Enfin, le bassin versant du Rhône connaîtrait les plus faibles variations.

Une estimation de la robustesse de l'évolution est donnée par le rapport « moyenne/écart type » du jeu de simulations hydro-climatiques. Une valeur supérieure à 2 est généralement considérée comme caractéristique d'une grande robustesse, alors qu'une valeur inférieure à 1 traduit une forte dispersion des résultats individuels des simulations hydro-climatiques autour de la valeur moyenne. Les tendances d'évolution des débits de crue sont d'une grande robustesse sur la majeure partie de la France et plus incertaines dans le quart Nord-Est. L'augmentation des débits de crue de référence se traduit directement par un glissement de chaque période de retour vers une période de retour plus proche. Ainsi, une crue centennale aujourd'hui pourrait être cinquantennale à l'horizon 2050.



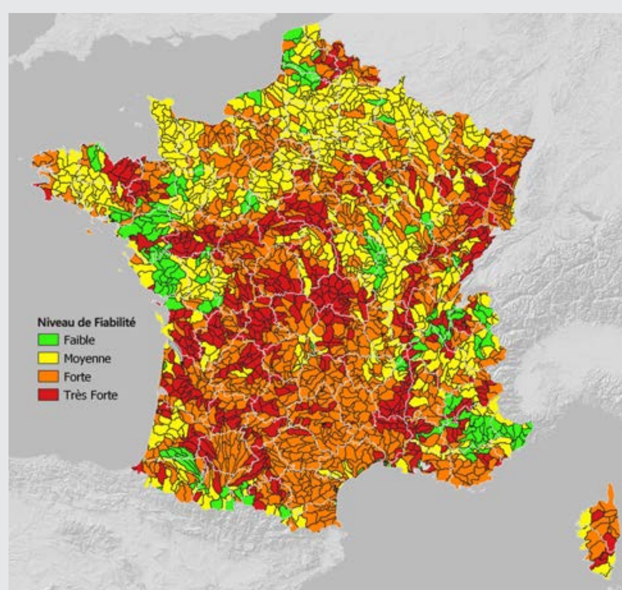


FIGURE 4 – GAUCHE : Évolution des débits de crue de référence de période de retour décennal (1/10 ans) par bassin versant sous l'impact du changement climatique à l'horizon 2050.
DROITE : Indicateur de robustesse des évolutions calculée à partir du rapport moyenne/écart-type.



→ ÉVOLUTION DES DOMMAGES LIÉS AU RISQUE DE CRUE LENTE

L'analyse de l'impact du changement climatique sur la sinistralité « inondation » par débordement a été réalisée à partir de notre modèle à haute résolution Coventéo-Inondation et par requalification des périodes de retour d'un certain nombre de crues de référence (décennales, vicennales…) à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 8.5. A l'échelle de chaque bassin versant, nous avons estimé la sinistralité annuelle moyenne (AAL) de la période de référence [2008 – 2018] par construction d'une courbe AEP (Annual Exceedance Probability) à partir des enveloppes de crues correspondant à des débits 1/5 ans, 1/10 ans, 1/20 ans, 1/50 ans, 1/100 ans et 1/200 ans.

Le calcul de l'AAL future a été réalisé en modifiant la fréquence des crues de référence en fonction de l'évolution des débits simulés par les travaux de modélisation du SMHI dans le cadre du projet européen SWICCA. En exploitant la relation linéaire qui existe entre le débit et le logarithme de la période de retour dans la loi de Gumbel[10], il est alors possible de recalculer une période de retour future d'un débit de référence en fonction de son évolution attendue.

Une nouvelle AEP est donc construite en intégrant les nouvelles fréquences et le scénario central d'évolution de la population de l'Insee. L'évolution future des dommages inondation par débordement devrait augmenter sur une large partie des départements (entre 50 et 100 %). Toutefois des disparités régionales marquées existent [**Figure 5**]. La façade atlantique et les bassins versant du Rhône, et de la Somme devraient connaître les plus fortes hausses de sinistralité (> 100 %).

Ainsi, les pertes liées aux inondations par débordement devraient augmenter de +110 % à horizon 2050 pour l'ensemble du territoire métropolitain.

+50 %
d'augmentation des débits de période de retour de 10 ans à horizon 2050

+110 %
d'augmentation de la sinistralité à horizon 2050

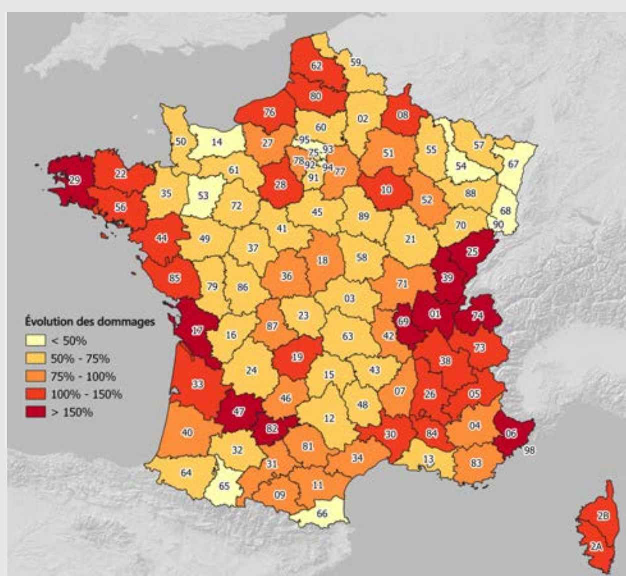


FIGURE 5

Évolution des dommages futurs (moyenne multi-modèles) dus aux inondations par débordement. Les évolutions de sinistralité ont été calculées entre la période future à horizon 2050 sous scénario RCP 8.5 et la période de référence (2008-2018).



→ ÉVOLUTION DU RISQUE DE CRUE TORRENTIELLE

Les crues torrentielles se concentrent majoritairement sur le pourtour méditerranéen. Elles sont la conséquence d'épisodes pluvieux très intenses et de courte durée dépassant généralement 100 mm à 200 mm en 24 heures. Ces épisodes « méditerranéens » ou « Cévenols » sont générés par des dépressions venues de Méditerranée qui se heurtent aux reliefs des Cévennes ou des Alpes du Sud déclenchant de violents orages accompagnés la plupart du temps de précipitations diluviennes (ex : Draguignan 2010, Cannes 2015, Vallée de la Vésubie 2020...). À ces épisodes, caractéristiques du domaine méditerranéen, s'ajoute l'ensemble des épisodes liés à des orages intenses ou encore au passage rapide de dépressions atmosphériques qui localement peuvent générer de forts cumuls de précipitations sur des secteurs à faibles reliefs et entraîner des phénomènes d'inondation par ruissellement.

Pour caractériser l'évolution future des épisodes de précipitations intenses, les données de cumul journalier de précipitations issues de 9 simulations climatiques régionales EURO-CORDEX ont été analysées.

L'évolution en fréquence des évènements de précipitations intenses, les probabilités annuelles de dépassement de différents seuils de cumuls de précipitations journalières correspondant à différentes périodes de retour pour la période de référence ont été calculées pour les deux périodes (la période de référence 1970-2005 et l'horizon 2050 | 2030-2070). Pour chacun des modèles EURO-CORDEX, le travail a été mené sur chaque point de grille puis agrégé à l'échelle des sous-bassins versants par un calcul de moyennes pondérées de la superficie. Pour chaque seuil de précipitations, les évolutions correspondant à la médiane inter-modèles sont présentées en [**Figure 6**].

Les seuils de précipitations analysés correspondent à des précipitations sur 24 heures de période de retour décennale, vicennale et cinquantennale. Dans le cadre de l'étude des inondations par ruissellement, il est d'usage de regarder les seuils de précipitations décennales sur lesquels sont calibrés les réseaux d'évacuations des eaux pluviales. Nous considérons qu'au-delà de ces seuils, l'eau précipitée ne peut s'évacuer totalement et des inondations de surface peuvent alors se produire. Cette analyse nous montre que les événements de précipitations extrêmes vont augmenter dans le futur.

En moyenne, les précipitations aujourd'hui décennales se produiront tous les 4,5 ans, alors que les précipitations, aujourd'hui vicennales, se produiront tous les 7 ans et les précipitations, aujourd'hui cinquantennales, tous les 11 ans.

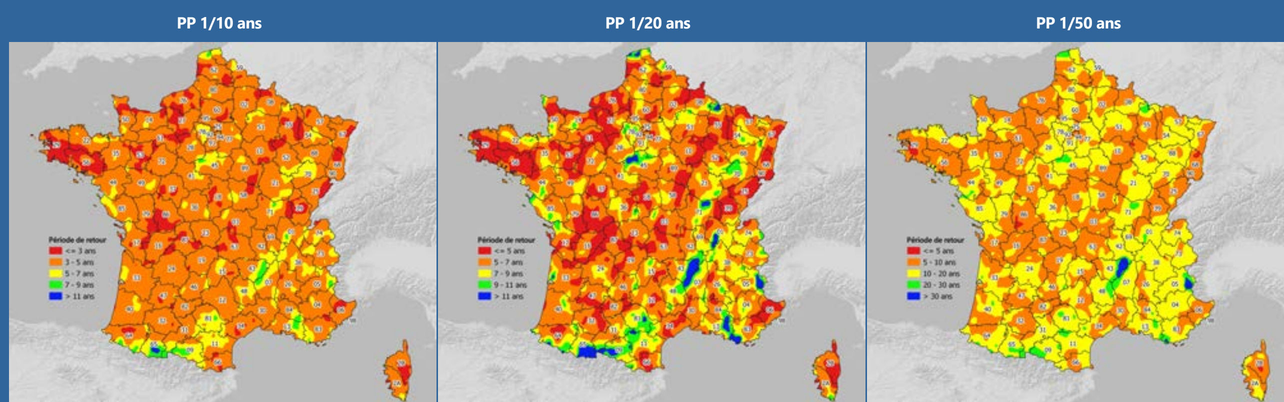


FIGURE 6 – Évolution de la fréquence annuelle de dépassement de seuils de précipitations journalières avec une approche multi-modèles climatiques (sur 24 heures, à l'horizon 2050, RCP 8.5)



→ ÉVOLUTION DES DOMMAGES LIÉS AU RISQUE DE CRUE TORRENTIELLE

L'estimation des dommages liés aux phénomènes d'inondation par ruissellement ou par crue torrentielle est basée sur une analyse minutieuse de la sinistralité historique (15 ans) qui nous a permis de poser des fonctions de type fréquence/coût à l'échelle régionale. L'utilisation combinée de ces fonctions d'endommagement avec les analyses d'évolution de la fréquence de l'aléa nous permet de calculer une sinistralité annuelle moyenne pour la période de référence et pour l'horizon 2050.

L'évolution future des dommages inondation par ruissellement devrait augmenter sur l'ensemble du territoire métropolitain. Toutefois, des « *hot-spots* » de sinistralité liés aux inondations par ruissellement existent notamment sur les Charentes, la Vallée du Rhône et dans l'Est de la France [**Figure 7**].

Cette sinistralité devrait augmenter de +130 % d'ici 2050 hors coûts actualisés en raison d'une forte augmentation des phénomènes de précipitations extrêmes.

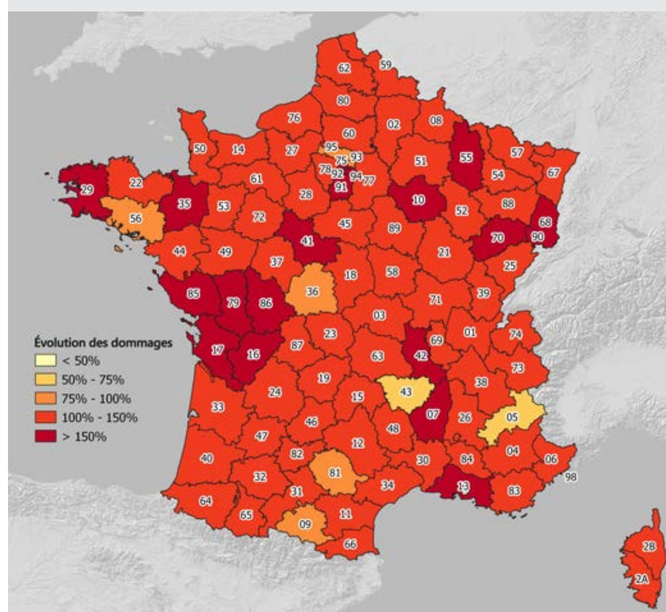


FIGURE 7 – Évolution des dommages annuels moyens (moyenne multi-modèles) dus aux inondations par ruissellement. Les évolutions de sinistralité ont été calculées entre la période future à horizon 2050 sous scénario RCP 8.5 et la période de référence (2008-2018).

+130 %
d'augmentation
de la sinistralité annuelle
moyenne ruissellement
+ *flash flood*
à horizon 2050



Précipitations
1/10 > 4,5 ans
1/20 > 7 ans
1/50 < 11 ans



LE RISQUE TEMPÊTE

Les tempêtes représentent le 1er poste de sinistralité hors CatNat pour le secteur de l'assurance dommages en France.
Comme pour les autres modèles « Cat » de la chaîne Coventéo, le modèle probabiliste de sinistralité Coventéo-Tempête a été développé sur la base d'hypothèses de fréquence et d'intensité issues de l'analyse des données historiques. Tout l'enjeu est de savoir si ces hypothèses seront encore valables à l'horizon 2050 sous l'effet du changement climatique.

Pour répondre à cette question, nous proposons une double approche reposant sur :

- une première étude bibliographique basée sur l'analyse de publications scientifiques sur le sujet ;
- une seconde étude portant sur l'analyse approfondie de 6 simulations EURO-CORDEX à haute résolution.



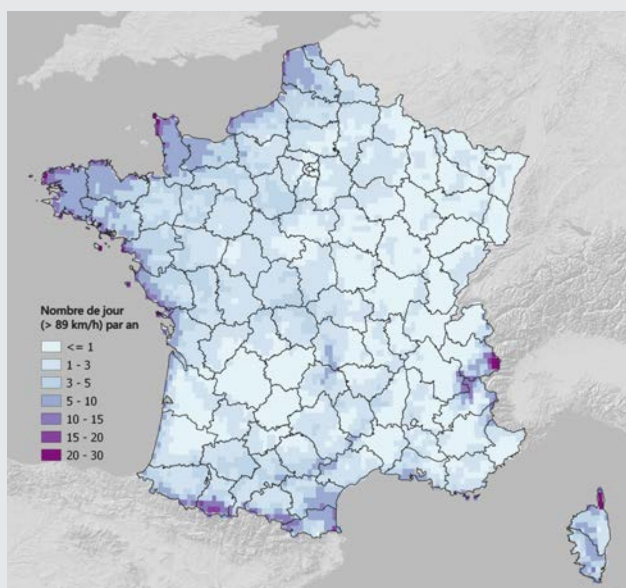
→ ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'analyse bibliographique a porté sur les conclusions des différents rapports du GIEC [1] et [8], ainsi que sur un ensemble de publications scientifiques soumises à comité de lecture.

Nos recherches bibliographiques nous ont amenés à la constatation que le sujet de l'évolution du risque de tempête en Europe avait très rapidement fait l'objet d'un consensus scientifique, montrant qu'un possible glissement vers le Nord était envisageable en liaison avec un déplacement septentrional du « *Jet Stream* » [8], [11], [12], [13], [14] et [15]. Les rapports du GIEC [1] et [8], les travaux de Chang et al. [16], Zappa et al. [17] ou encore de Spinoni et al. [18], basés sur les simulations climatiques CMIP5 [1] corroborent les premières conclusions des études antérieures.

Dans l'ensemble, les modèles climatiques semblent montrer un déplacement potentiel des tempêtes hivernales vers les régions septentrionales, en raison d'un déplacement dans la même direction du front polaire et du « *Jet Stream* » sous l'influence d'un réchauffement des zones polaires et d'une diminution de la banquise. Cependant, toutes les études accordent une faible fiabilité à ces résultats dans la mesure où l'on observe une grande divergence dans les résultats des simulations des modèles climatiques sur ce sujet précis dans l'hémisphère Nord. Concernant l'évolution de l'intensité des phénomènes, les modèles climatiques ne montrent pas de signal particulier et bien tranché, même si des études récentes montrent que celui-ci pourrait augmenter sous l'impact du changement climatique. Une récente étude sur les « *Sting-Jet* » ou courant d'occlusion [19] montre que ces phénomènes particulièrement violents (tempête de 1987) pourraient augmenter sous l'impact du changement climatique et plus particulièrement dans le Nord de l'Europe. Une autre étude, basée sur les analyses des simulations EURO-CORDEX, indique que le changement climatique pourrait mener à une augmentation marginale (0-20 %) de la probabilité d'occurrence de vents extrêmes d'ici 2050 [20].

→ ANALYSE DES SIMULATIONS EURO-CORDEX



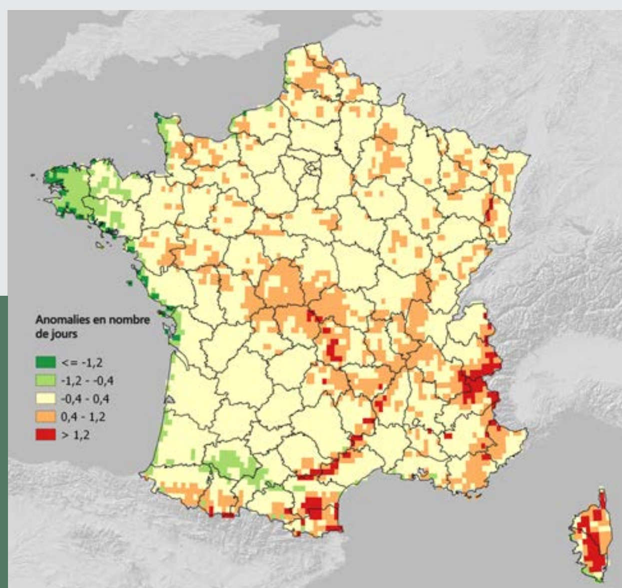


FIGURE 8 – GAUCHE : Fréquence de jours tempétueux (> 89km/h) en nombre de jours par an pour la période de référence (approche multi-modèles). **DROITE :** Évolution de la fréquence de jours tempétueux en anomalie de nombre de jours par an à l'horizon 2050 par rapport à la période de référence (approche multi-modèles).



Pour compléter l'analyse bibliographique et afin de pouvoir quantifier localement les changements de fréquence et d'intensité des tempêtes attendus à l'horizon 2050 sous RCP 8.5 sur la France, nous avons procédé à une analyse des simulations EURO-CORDEX à haute résolution spatiale (~12 km). Au total, 6 modèles EURO-CORDEX ont été sélectionnés en raison de la disponibilité de la variable « rafale de vent » dans les simulations **[Table 1]**.

Deux analyses ont été menées sur cet ensemble de simulations :

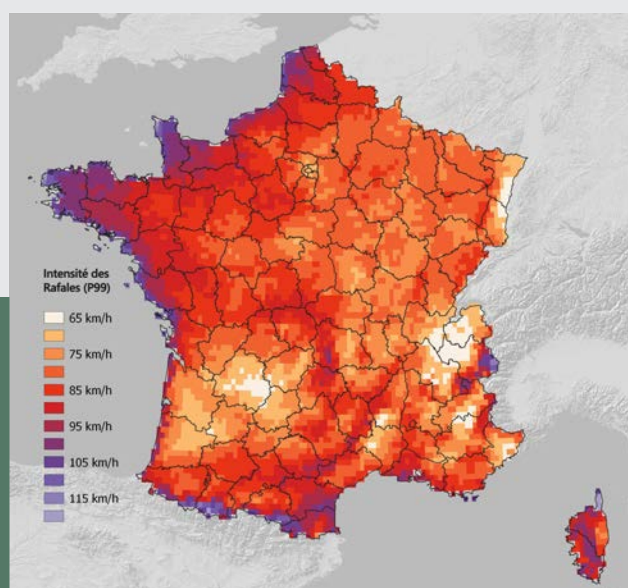
- une première visant à quantifier la fréquence annuelle des jours de vent tempétueux (> 89 km/h) pour la période de référence et à l'horizon 2050 ;
- une seconde visant à calculer l'anomalie de vitesse de vent extrême (en km/h) à partir du 99ème percentile des distributions correspondant aux deux périodes étudiées, permettant d'analyser les changements en intensité des tempêtes.

La **Figure 8** présente l'estimation des fréquences annuelles de vents de tempête (> 89 km/h) pour la période de référence et son évolution à l'horizon 2050 avec une approche multi-modèles. Nous ne constatons pas d'évolution significative entre la période historique et l'horizon 2050, et ceci pour chaque modèle. En moyenne, l'anomalie du nombre de jours tempétueux selon les 6 modèles étudiés ne devrait excéder +/- 3 jours par an [**Figure 8**]. Nous considérons donc à la lecture de ces résultats que le changement climatique ne devrait pas avoir d'impact significatif sur la fréquence des tempêtes en France à l'horizon 2050 et sous le scénario RCP 8.5. Concernant l'évolution des intensités caractérisées par les vitesses de rafales, notre analyse des différences de vitesse de rafales pour le 99ème percentile des distributions de chaque période (REF et H2050) et pour chaque modèle met en évidence une certaine hétérogénéité spatiale entre les différents modèles. Les valeurs restent, cependant, toujours très faibles (< 5 km/h). En moyenne, les phénomènes les plus extrêmes ne devraient pas gagner ou perdre en intensité à l'horizon 2050, comme le montre la **Figure 9**.

En conclusion, à la lecture des publications scientifiques et de l'analyse des simulations EURO-CORDEX, il n'apparaît aucun signal significatif d'une évolution de la fréquence des tempêtes ni de leur intensité en relation avec le changement climatique à l'horizon 2050 sous scénario RCP 8.5.

Pas d'augmentation ni de la fréquence, ni de l'intensité des tempêtes.

Pas d'augmentation significative de la sinistralité à horizon 2050.



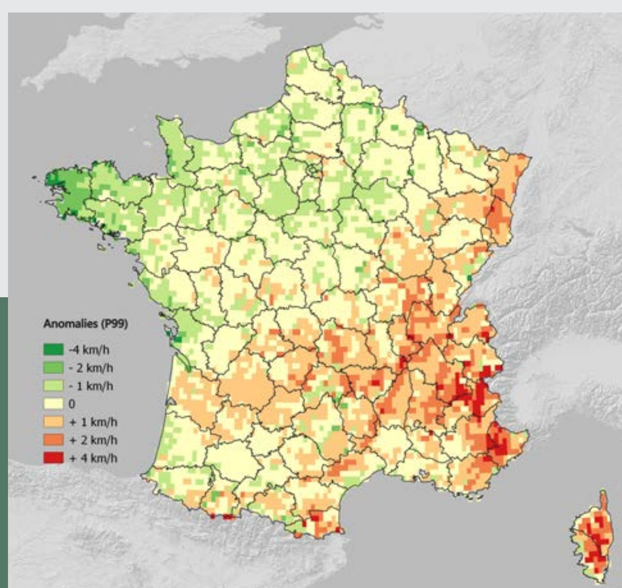


FIGURE 9 – GAUCHE : Intensité du 99ème percentile de la vitesse de vent de rafale (en km/h) pour la période de référence (selon une approche multi-modèles). **DROITE :** Évolution de l'intensité du 99ème percentile de la vitesse de vent de rafale en anomalie (km/h) à l'horizon 2050 par rapport à la période de référence (approche multi-modèles).



LE RISQUE SÉCHERESSE

Sécheresse géotechnique, subsidence, retrait-gonflement des argiles (RGA) sont autant de synonymes utilisés pour évoquer le risque sécheresse en son sens assurantiel. Ce phénomène, lié aux variations de volume du sol, induit des tassements différentiels provoquant des dommages aux constructions si les fondations et la structure ne sont pas assez rigides. Il constitue le 2ème poste d'indemnisation des sinistres CatNat après l'inondation. Entre 1989 et 2020, le coût cumulé de la sécheresse s'élève à près de 15,2 milliards d'euros pour le marché de l'assurance [3].

Depuis 2016, les assureurs ne peuvent qu'observer la récurrence des épisodes de sécheresse intense et des dommages assurantiels engendrés. Ainsi, dans un contexte de changement climatique marqué, la sécheresse demeure un véritable enjeu pour l'industrie de l'assurance.



→ L'ALÉA SÉCHERESSE

Le risque de retrait-gonflement des argiles est lié à une combinaison multifactorielle résultant des variations de teneur en eau des terrains argileux en réponse aux conditions climatiques. Plusieurs facteurs d'instabilité sont responsables de l'apparition de ce phénomène.

Facteur de prédisposition : La nature du sol est le facteur de prédisposition prépondérant. Les sols argileux en raison de leur structure minéralogique atypique « en feuillet » favorisent le phénomène de RGA. L'espace entre les différentes couches ou feuillets de minéraux peut accueillir de l'eau et des ions conférant aux argiles leurs propriétés de dilatation et rétractation. La plasticité de l'argile va ainsi dépendre des minéraux qui vont la constituer. La smectite, la vermiculite et la montmorillonite sont des minéraux extrêmement sensibles du fait de leur potentiel de déformation élevé (on parle « d'argiles gonflantes »). 46 % du territoire métropolitain se trouve en zone d'aléa moyen ou fort de RGA et concentre 93 % de la sinistralité du marché [**Figure 10**].

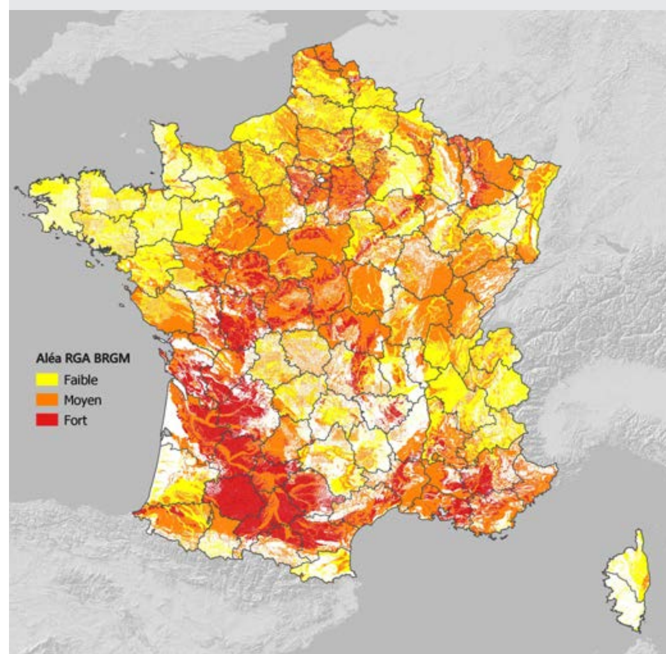


FIGURE 10 – Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles actualisée en 2019 [BRGM].

Facteurs déclenchants : Les facteurs de déclenchement sont ceux dont la présence provoque le phénomène de retrait-gonflement mais qui n'ont d'effet significatif que s'il existe des facteurs de prédisposition préalables. L'état d'hydratation des sols impacte directement la structure des argiles. Les variations climatiques constituent le principal facteur de déclenchement. Les deux paramètres importants sont les précipitations et l'évapotranspiration. En période de sécheresse exceptionnelle, caractérisée par un déficit pluviométrique et une évaporation anormale, la tranche superficielle du sol est soumise à une rétractation. Les molécules d'eau captives des espaces inter-feuillets sont ainsi libérées, produisant le phénomène de retrait des argiles. *A contrario*, en période humide, les sols se gorgent d'eau et les argiles subissent des phénomènes de gonflement.

Facteurs aggravants : Certains facteurs anthropiques ou environnementaux ne suffisent pas à eux seuls à déclencher le phénomène, mais contribuent à l'aggraver. Comme des facteurs anthropiques liés à des travaux d'aménagement qui peuvent modifier la teneur en eau du sous-sol, des actions de drainage du sol, de pompage, de plantation, une fuite, voire la rupture d'un réseau enterré humide ou une infiltration d'eaux pluviales, peuvent avoir un impact significatif sur l'état hydrique du sous-sol et de ce fait provoquer des désordres par gonflement des argiles. Concernant les **facteurs environnementaux**, la présence de végétation arborée à proximité d'un bâtiment construit sur sol sensible peut, à elle seule, constituer un élément aggravant. Les racines des végétaux aspirent l'eau du sol par succion.

→ LA SÉCHERESSE DANS LE RÉGIME DES CATNAT

Le traitement de la sécheresse dans le cadre du régime CatNat a connu de nombreuses évolutions. Huit modifications des critères de reconnaissance CatNat depuis 1989 rendent hétérogène l'historique des reconnaissances et de la sinistralité et compliquent son analyse. Depuis 2019, de nouveaux critères de reconnaissance[21] pour la sécheresse ont été mis en place et sont désormais appliqués pour tous les événements de sécheresse à partir de celui de 2018. L'éligibilité d'une commune à une reconnaissance CatNat résulte de la combinaison de deux critères.

Le premier critère « géotechnique » relatif à la présence d'argiles sensibles au phénomène RGA, mis en œuvre depuis 1989, est maintenu. **La surface en**



RGA avéré d'une commune doit être supérieure à 3 % de la surface totale de la commune pour que ce premier critère soit déclenché. Ce critère permet d'identifier la prédisposition des sols au RGA en fonction de la variation du niveau d'humidité. Il s'appuie sur les données produites par le BRGM. Cependant, il ne permet pas à lui seul de caractériser l'intensité d'un épisode de sécheresse-réhydratation des sols, sa mise en œuvre demeure combinée avec un critère météorologique.

Le second critère « météorologique » est utilisé pour évaluer l'intensité du déficit hydrique du sol. Il est considéré comme le facteur déclenchant.

Il est désormais adopté comme critère :

- Une seule variable hydrométéorologique, le niveau d'humidité du sol via l'indice SWI.
- Un seuil unique pour qualifier le caractère anormal d'une sécheresse au sens de l'article L.125-1 du Code des assurances. L'autorité administrative considère que l'intensité d'un phénomène de sécheresse est anormale dès lors que l'indicateur d'humidité des sols présente **une durée de retour supérieure ou égale à 25 ans**.

Le critère sera apprécié pour chaque saison d'une année civile. Ainsi, 4 indicateurs sont définis par année.

→ ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES SÉCHERESSES À HORIZON 2050

La **Figure 11** présente pour chaque saison l'évolution de l'humidité des sols multi-modèles entre le climat futur (H2050) et le climat actuel (REF). On constate que les sécheresses vont s'accentuer sur l'ensemble du territoire, quelles que soient les saisons considérées. Toutefois, des disparités spatiales sont observées avec des territoires plus ou moins touchés selon les périodes de l'année :

- Durant la saison hivernale, l'assèchement des sols est plus important en Bretagne et dans la moitié Nord de la France tandis que le phénomène reste faible sur le reste du territoire métropolitain.
- Durant la saison printanière, l'assèchement des sols est le plus important sur le croissant argileux du Sud Ouest au Val de Loire et sur le Bassin Parisien.
- Durant la saison estivale, l'assèchement des sols est plus marqué sur la façade atlantique, le Sud Ouest et la région PACA.
- Durant la saison automnale, l'assèchement des sols est marqué sur une large moitié ouest de la France avec un renforcement de cet assèchement sur le Massif Central.

Les résultats suggèrent donc une aggravation particulière des sécheresses dans des régions connaissant aujourd'hui en moyenne des sols assez humides (ex : Bretagne, Massif Central, Côte de la Manche).

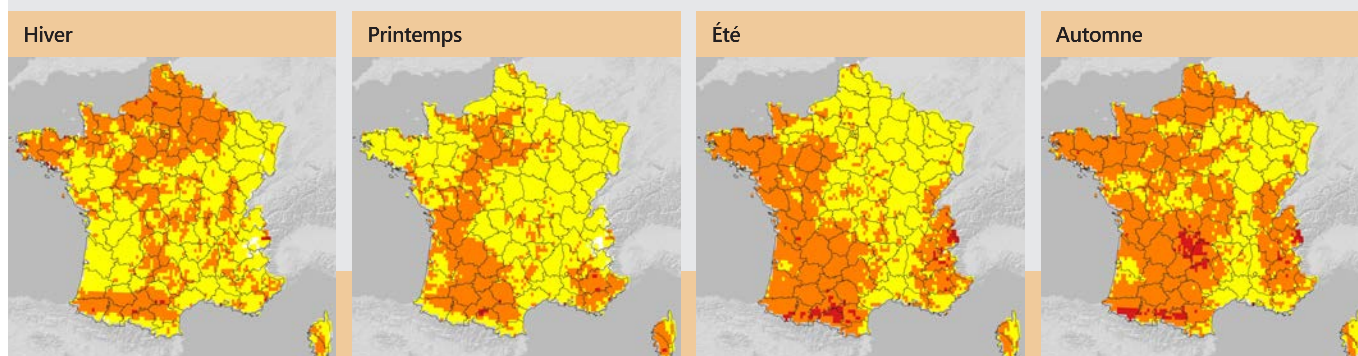




FIGURE 11 – Évolution de l'indicateur d'humidité des sols multi-modèles à climat futur (H2050 – 2035-2065) sous scénario RCP 8.5 en comparaison du climat actuel (Référence 1970-2005)



→ ÉVOLUTION DE LA FRÉQUENCE DE L'ÉLIGIBILITÉ CATNAT ET DES DOMMAGES ASSOCIÉS

La **Figure 12** illustre l'évolution future de la fréquence annuelle d'éligibilité hydrométéorologique, en moyenne multi-modèles, calculée à partir de l'indice d'humidité du sol dépassant une durée de retour de 25 ans à l'horizon 2050 sous scénario RCP 8.5. On constate une hausse moyenne de la fréquence d'éligibilité CatNat de l'ordre de +70 % à climat futur (horizon 2050) selon l'approche multi-modèles. L'évolution des fréquences annuelles d'éligibilité concerne l'ensemble du territoire métropolitain avec des zones plus marquées (> 100-150 %) comme le croissant argileux, le Grand Est ou encore la Bretagne.

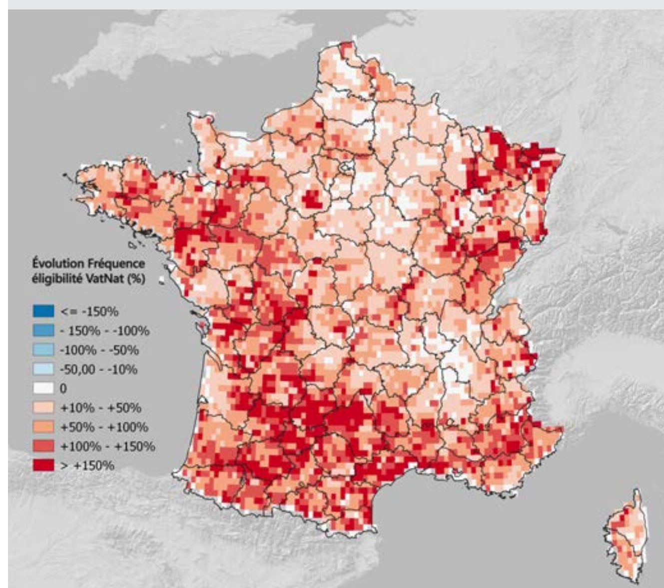


FIGURE 12 – Évolution de la fréquence annuelle moyenne d'éligibilité hydrométéorologique (SSWI > 1/25 ans) à partir de la moyenne multi-modèles EURO-CORDEX entre la période de référence et l'horizon 2050.

L'estimation des dommages a été réalisée avec le modèle Coventéo-Sécheresse. L'éligibilité potentielle, pour chacune des années de la période 2008-2065 a été calculée pour chacun des 11 modèles EURO-CORDEX et DRIAS puis moyennée pour conserver l'approche multi-modèles. Notons que la sinistralité historique de référence a été calculée sur la période 2008-2018 à partir d'une approche en *« As-If »* ; et qu'aucune inflation n'a été appliquée sur les portefeuilles Covéa pour deux raisons : tout d'abord, le stock de maisons à fort potentiel de sinistralité est déjà constitué pour les 30 prochaines années ; ensuite, l'effet de la garantie décennale décale dans le temps la prise en charge des dommages pour les nouvelles constructions.

La charge sinistre est estimée pour chacune des 58 années à climat futur par les 11 modèles. Les pertes moyennes ont ensuite été calculées à horizon 2050. Le taux d'évolution annuel moyen entre la période de référence (2008-2018) et les horizons futurs a été calculé selon la formule suivante :

$$\Delta PM = \left(\left(\left(\frac{\overline{PM}\ Horizon}{\overline{PM}\ Ref}\right)\right)-1\right) * 100$$

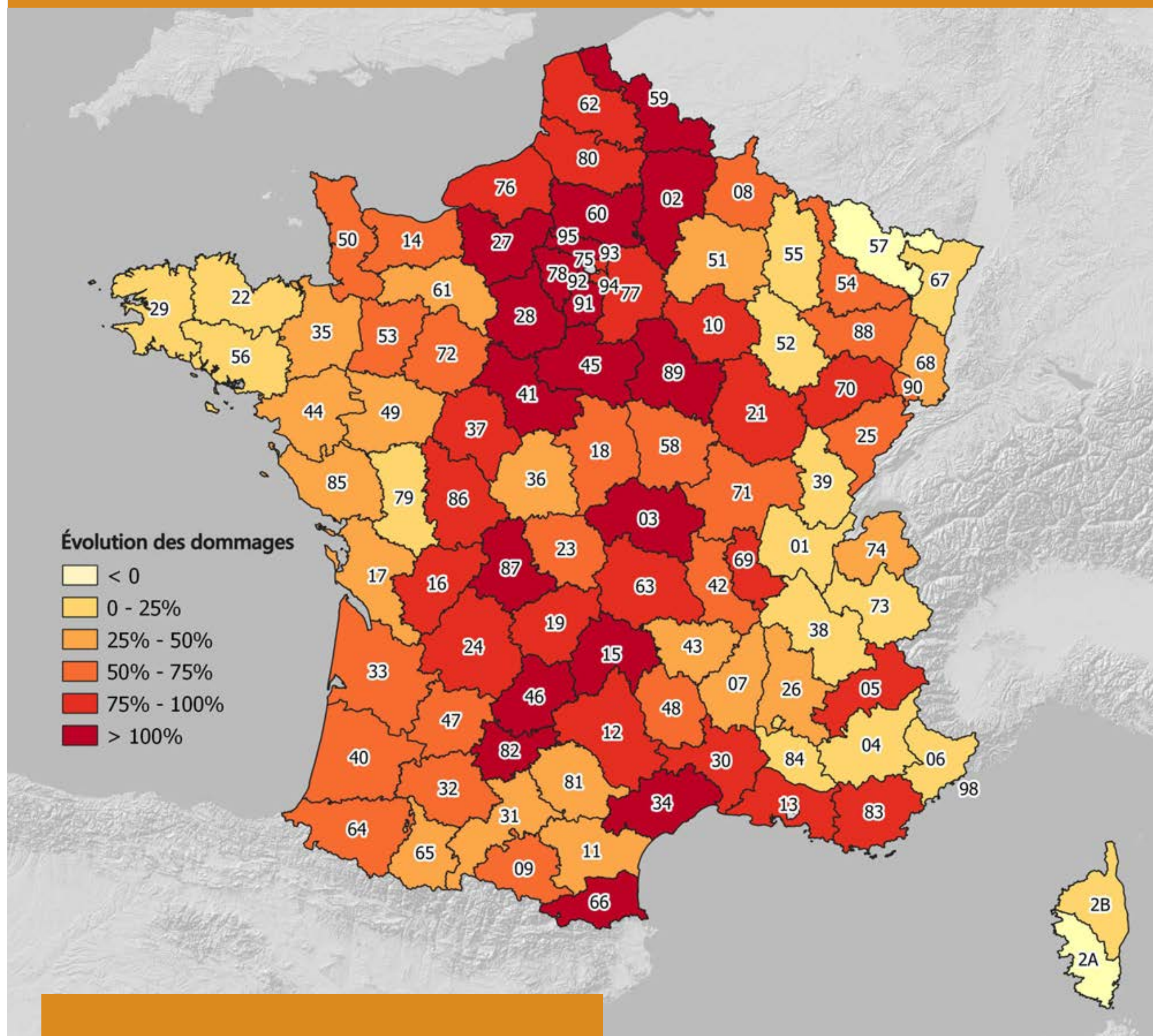
$\overline{PM}_{Horizon}$ correspond à la moyenne des pertes annuelles à climat futur (2045-2055)

$\overline{PM}_{Ref}$ correspond à la moyenne des pertes annuelles à climat actuel (2008-2018)

A l'horizon 2050, une hausse de l'ordre de +60 % de la sinistralité sécheresse est attendue selon l'approche multi-modèles. L'augmentation des dommages attendus devrait être généralisée sur le territoire métropolitain avec toutefois quelques disparités spatiales [**Figure 13**]. En effet, les plus fortes évolutions attendues se concentrent sur l'ensemble du « croissant argileux » qui s'étend du Var au Val-de-Loire en passant par le midi-toulousain.Le Bassin Parisien, les Hauts-de-France, le Centre-Est (Bourgogne et Limagne) font également figure de « hot spot » de sinistralité puisque ces territoires devraient également enregistrer une hausse sensible des dommages dus à la sécheresse géotechnique sous l'effet du changement climatique.



FIGURE 13 – Évolution des dommages (moyenne multi-modèles) dus à la sécheresse géotechnique à climat futur sous le scénario RCP 8.5 pour l'horizon 2050.



+70 %

d'augmentation de la fréquence d'éligibilité CatNat en lien avec la sévérité des sécheresses.

+60 %

d'augmentation de la sinistralité à horizon 2050.



LE RISQUE GRÊLE

La grêle est un phénomène complexe à observer et à retracer à partir des différents paramètres atmosphériques. Il faut attendre 2015 pour accéder à des travaux de recherche qui s'intéressent à l'impact du changement climatique sur cet aléa. La raison principale est qu'une validation des méthodes d'identification des situations grêligènes dans les données de réanalyses est nécessaire en amont, avant d'adapter ces méthodes aux données de projections climatiques.

Un modèle probabiliste de sinistralité grêle a été développé par Covéa, dont les hypothèses de fréquence, de couverture spatiale et d'intensité reposent sur un indicateur de suivi des orages grêligènes calculé avec les données de réanalyses climatiques ERA-5 (ECMWF) couvrant la période de 1979 à 2020. Cet indicateur a permis d'isoler l'ensemble des événements convectifs grêligènes sur la période étudiée et de construire un référentiel de fréquence et de couverture spatiale. Il a également été utilisé pour cartographier les distributions relatives aux directions préférentielles, à partir de la taille des empreintes au sol ou encore de l'intensité des chutes de grêle.



→ DÉFINITION DE L'INDICATEUR DE SUIVI DES ORAGES GRÊLIGÈNES

L'approche utilisée pour analyser l'évolution de la fréquence des orages de grêle repose sur une adaptation des travaux de Pucik et al.[22] et Rädler et al.[23]. Ceux-ci utilisent la combinaison de deux indices météorologiques pour identifier les situations convectives intenses grêligènes : l'indice de soulèvement « *Lift Index* » et le cisaillement vertical du vent. Pour ce deuxième indice, le cisaillement angulaire du vent a été utilisé à la place du cisaillement en intensité, afin d'isoler les situations propices à l'entraînement de phénomènes tourbillonnaires qui jouent un rôle prépondérant dans l'intensification de la convection orageuse.
Le calcul du *Lift Index* s'effectue à partir de la température et de l'humidité spécifique entre deux niveaux atmosphériques. Les niveaux atmosphériques retenus sont 850hPa (base des nuages convectifs) ou 700hPa (pour limiter l'impact des reliefs sur les chaînes de montagne) et 500hPa.

Le calcul du cisaillement vertical angulaire s'effectue à partir du vent zonal et méridional entre deux niveaux atmosphériques. Le niveau supérieur utilisé est 500hPa, et le niveau inférieur 850hPa ou la surface. Cet indice n'est utile que s'il est associé au *Lift Index*, car il joue un rôle dans l'amplification et la durée du phénomène. En effet, le cisaillement vertical angulaire n'est qu'un facteur d'amplification et non un indice lié à l'occurrence du phénomène de convection, élément déclenchant.

→ ÉVOLUTION DE LA FRÉQUENCE DES ORAGES GRÊLIGÈNES À HORIZON 2050

Les travaux de Rädler et al.[24] reposent sur l'utilisation des projections EURO-CORDEX à une résolution spatiale de ~45 km. L'approche retenue a consisté à exploiter les simulations EURO-CORDEX à plus haute résolution spatiale (~12 km), afin de mieux prendre en compte les phénomènes convectifs locaux visibles uniquement à une échelle plus fine. Cependant, le recours à des simulations à plus haute résolution limite le nombre de simulations disponibles. L'étude a donc porté sur l'analyse de six simulations EURO-CORDEX **[Table 1]**. Pour chacun des modèles climatiques, nous avons calculé les valeurs de deux indices météorologiques : le *Lift Index* - ou indice de soulèvement - et le cisaillement vertical angulaire. La recherche des seuils optimaux pour ces deux indices combinés a été réalisée sur les données historiques (REF) des simulations EURO-CORDEX avec une méthode de recherche de convergence dont la valeur cible correspondait au nombre de jours moyen par an de chutes de grêle sur le territoire, fixé à 67 jours (source Météo-France) sur la période d'avril à octobre. Cette méthode itérative a permis de retenir le seuil de -5°C pour le *Lift Index* et de 90° pour le cisaillement vertical angulaire, conduisant à une moyenne multi-modèles de 66,6 jours de grêle par an. Ces seuils ont ensuite été appliqués aux données de projections climatiques pour l'horizon 2050.
Les résultats montrent une augmentation significative des situations orageuses grêligènes à l'échelle du territoire, de l'ordre de 40 % [Table 3].

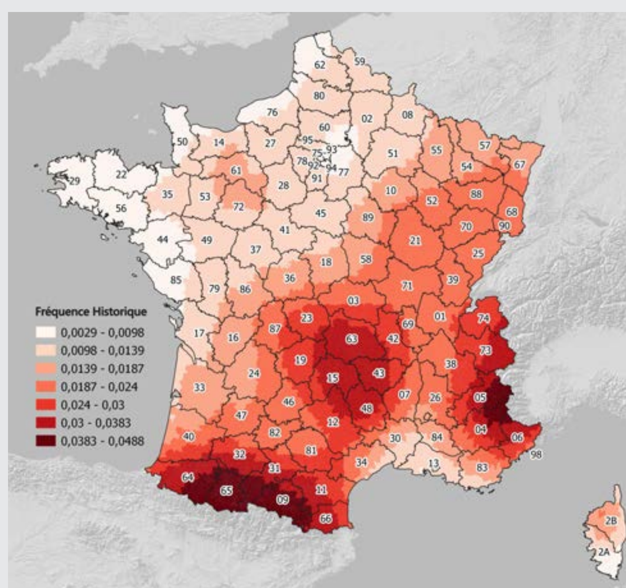
MODÈLES EURO-CORDEX							
Scénarios	MPI/COSMO-R1	MPI/COSMO-R2	MPI/REGCM4-6	HadGEM2/RegCM4-6	MPI/ALADIN63	Nor/COSMO	Moyenne
Historique	80,19	74,81	33,5	51,19	77,54	82,27	66,6
H2050 [RCP8.5]	99,3	97,8	60,3	85,1	100,9	106,1	91,6
Évolution	24 %	31 %	80 %	66 %	30 %	29 %	**38 %**

TABLE 3 – Évolution attendue des situations grêligènes en 2050 selon plusieurs modèles EURO-CORDEX.



Pour les 2/3 Nord du pays, l'évolution du nombre de jours de grêle par an est considérée comme robuste, avec entre 1 et 4 jours de plus que pour la période de référence. Dans le Sud, déjà fortement impacté, les évolutions ne sont pas considérées comme suffisamment robustes, même si l'ensemble des modèles affichent une hausse importante du nombre de jours avec grêle.

Les résultats de cette analyse ont ensuite été appliqués à la carte de fréquence spatiale des chutes de grêle développée par Covéa à partir des données historiques de réanalyses climatiques ERA-5, qui sert de base pour la génération des événements stochastiques du modèle probabiliste. Nous avons ensuite appliqué les facteurs d'augmentation locaux à la carte des fréquences historiques pour obtenir une vision à l'horizon 2050 des nouvelles fréquences spatiales [**Figure 14**]. Dans l'ensemble, il ne faut pas s'attendre à de grandes modifications spatiales des régions les plus exposées, même si l'on observe un glissement vers le Nord-Est des zones très fortement exposées. Toutes les régions devraient voir une augmentation significative des orages de grêle.



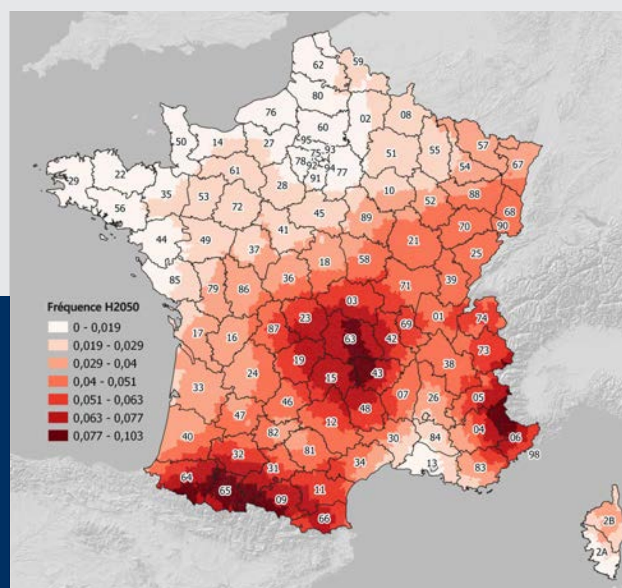


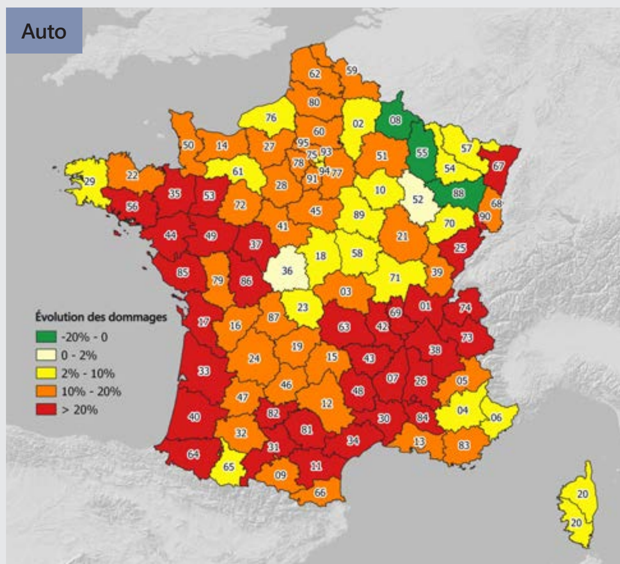
FIGURE 14 – Évolution de la fréquence spatiale des orages de grêle (en nombre d'occurrence par an) sur la période historique et à horizon 2050.

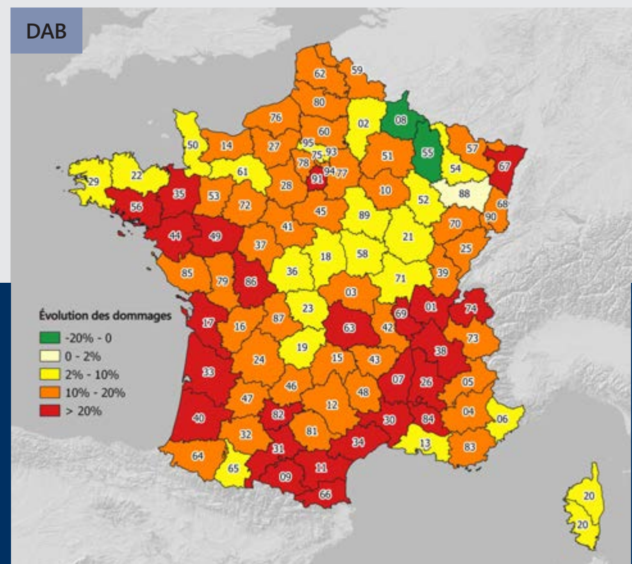
→ ÉVOLUTION DE LA SINISTRALITÉ FUTURE

L'impact de l'augmentation des orages de grêle attendu sur la sinistralité des branches automobile et dommages aux biens (DAB) a été évalué à partir du modèle stochastique Coventéo-Grêle [**Figure 15**]. Les nouvelles fréquences annuelles, estimées à partir des travaux précédents, ont été injectées dans le module d'aléa afin de corriger le catalogue d'événements stochastiques du modèle existant et de tenir compte de la redistribution spatiale des orages de grêle sous l'impact du changement climatique. Parallèlement à cette correction du catalogue d'événements stochastiques, nous avons procédé à une évaluation de la redistribution spatiale des expositions en appliquant les projections centrales de l'INSEE sur un portefeuille « marché ». Ces nouveaux portefeuilles (Auto et DAB) ont été utilisés dans notre modèle stochastique dont le catalogue d'événements a été corrigé des variations de la fréquence spatiale attendues sous l'impact du changement climatique.

Au total, il faudrait s'attendre à une augmentation de l'ordre de 20 % de la sinistralité grêle pour les branches Auto et DAB. Cette augmentation serait pour moitié liée à l'augmentation de l'aléa et pour moitié liée à la redistribution spatiale des expositions.







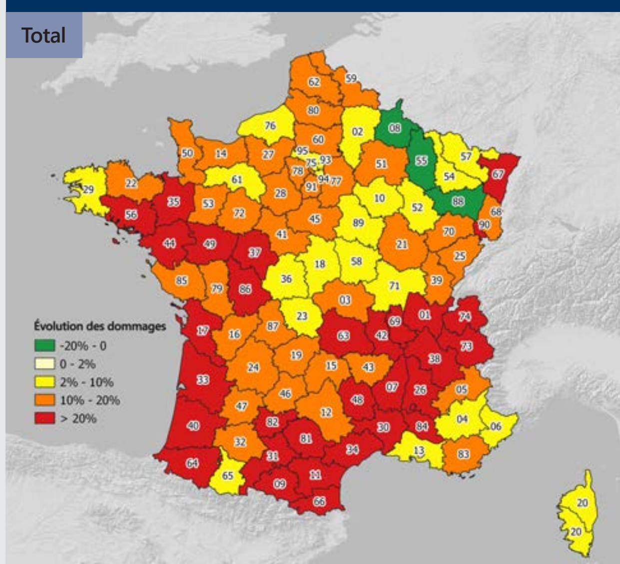


FIGURE 15 – Évolution de la sinistralité annuelle moyenne "grêle" par département à horizon 2050.

+20 %
d'augmentation
de la sinistralité grêle
pour les branches
Auto et DAB
à horizon 2050.

+40 %
d'augmentation
de la fréquence
des orages grêligènes
à horizon 2050.

CONCLUSION

Cette étude, fruit d'une étroite collaboration entre RiskWeatherTech et Covéa, ambitionne d'apporter un nouvel éclairage sur les conséquences du changement climatique sur la sinistralité future selon le scénario RCP 8.5, à quelques mois de la publication du 6ème rapport du GIEC.

Nos principales conclusions montrent qu'à l'horizon 2050 :

- Les inondations seront plus fréquentes sur l'ensemble du territoire français en raison d'une évolution du régime des précipitations : plus élevées sur les 2/3 Nord du territoire en moyenne annuelle, et plus rares mais plus intenses sur un grand quart Sud-Est. Les événements de crues torrentielles seront donc plus nombreux et plus intenses ainsi que ceux de crues débordantes. La sinistralité liée aux risques d'inondation de plaine devrait augmenter de +110 %. Quant aux crues éclairs et au ruissellement associé, la hausse de la sinistralité attendue est de l'ordre de +130 %.

- Les sécheresses devraient également se renforcer et conduire à une hausse de la charge sinistre de l'ordre de +60 % sur les expositions Covéa. L'aléa modélisé à partir de l'éligibilité hydrométéorologique devrait augmenter de +70 % sur l'ensemble du territoire métropolitain.

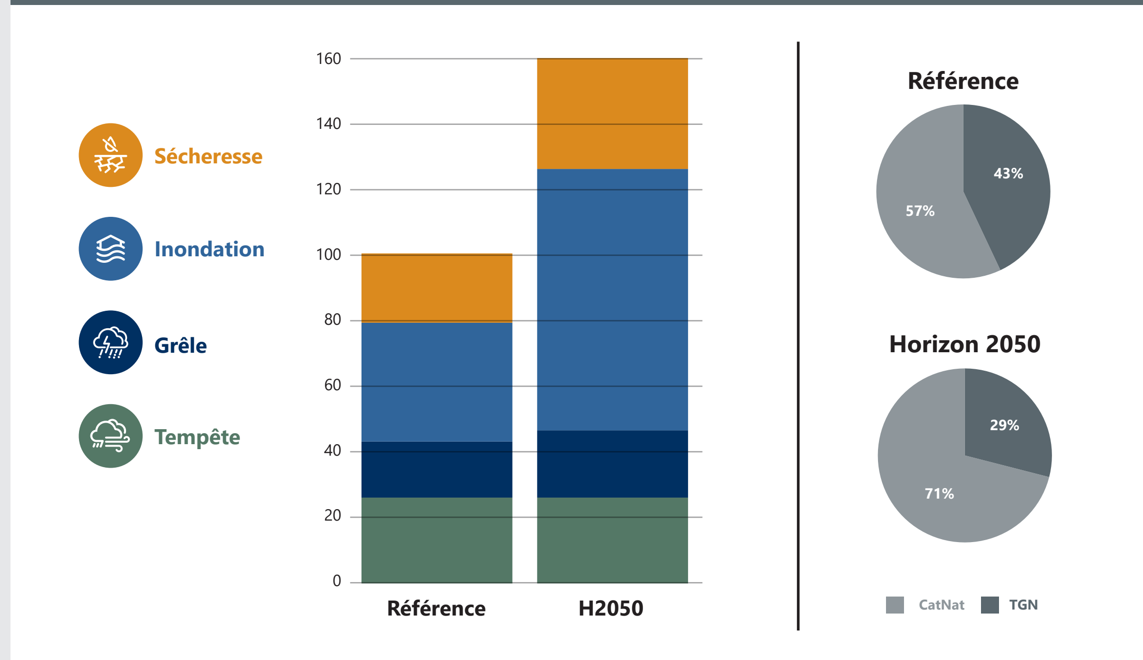
- Les orages de grêle devraient connaître une augmentation importante sur l'ensemble du territoire (+40 %) et toucher des secteurs actuellement épargnés. La moitié Nord de la France connaîtra la plus forte augmentation du nombre de chutes de grêle, mais les zones les plus fortement exposées actuellement resteront toujours les plus à risque. La charge sinistre devrait augmenter de +20 %.

- La seule bonne nouvelle concerne *a priori* les tempêtes puisqu'aucune évolution significative n'est attendue dans les prochaines décennies concernant aussi bien la fréquence des jours tempétueux que l'intensité des rafales.

- Au global, le changement climatique devrait contribuer à une augmentation de la sinistralité de +60 % dans les années à venir, en lien avec une hausse de la fréquence et de la sévérité des événements en inondation, sécheresse et grêle.

- À horizon 2050, une déformation de la répartition de la sinistralité CatNat versus TGN dans la charge des événements climatiques est attendue. Elle devrait ainsi passer d'un rapport 57/43 sur la période passée (1989-2019) à un rapport 70/30 au bénéfice de la sinistralité CatNat [**Figure 16**].

FIGURE 16 – Répartition de la charge sinistre climatique [Base 100] - Référence vs. H2050



Nos conclusions convergent avec les précédentes études du marché (CCR [3] et FFA [25]) sur une tendance généralisée à la hausse de la sinistralité climatique mais divergent sur les ordres de grandeur de ces augmentations, notamment sur l'inondation et la sécheresse.

Ces divergences s'expliquent très facilement par des choix méthodologiques différents :

- Notre étude se base sur une approche multi-modèles avec l'utilisation d'une palette de modèles de climat beaucoup plus large que la FFA. Entre 6 et 11 modèles climatiques ont été utilisés dans notre étude en fonction du péril modélisé.

- Notre modélisation de l'aléa est en accord avec les critères réglementaires retenus dans le cadre du régime d'indemnisation des Catastrophes Naturelles.

- La transposition de l'évolution de l'aléa en sinistralité se base sur l'utilisation de nos propres modèles de dommages calibrés à partir de nos expériences sinistres et de nos portefeuilles.

Le péril grêle n'ayant pas fait l'objet d'étude particulière sur l'évaluation des effets du changement climatique sur la sinistralité, il nous est difficile de confronter nos conclusions avec d'autres sources que les publications scientifiques sur le sujet.

Ces indicateurs permettent de mettre en lumière le défi qui attend les assureurs mais également l'ensemble des décideurs face à l'enjeu du changement climatique.

Le groupe Covéa met en œuvre, depuis plus de 10 ans, un programme novateur de modélisations des risques climatiques – Coventéo – afin de mieux maîtriser la sinistralité liée aux risques naturels. Pour des assureurs non-vie, la maîtrise des fondamentaux techniques sera plus que jamais nécessaire. C'est la raison pour laquelle Covéa poursuit le développement de ses programmes avec notamment une meilleure prise en compte des aléas dans la tarification, la surveillance des portefeuilles, la sélection des risques.

Mais il faudra aller au-delà des leviers traditionnels que sont la tarification, la surveillance et la sélection des risques en souscription. La prévention doit devenir un axe majeur dans l'adaptation de l'habitat face aux défis du changement climatique. Covéa a été pionnier dans ce domaine avec la mise en place d'un dispositif d'alertes aux assurés en cas de survenance d'événements climatiques.

Un programme de recherche vise à développer des solutions pour adapter l'habitat et le rendre plus résilient aux aléas. À titre d'exemple, des expérimentations sont menées pour équiper les maisons situées en zones inondables de portes étanches ou de batardeaux en fonction des préconisations réglementaires des Plans de Prévention des Risques locaux. En matière de sécheresse, Covéa teste des solutions innovantes pour réduire le retrait-gonflement des sols argileux par des procédés de traitement des argiles, ou par des méthodes douces de réhydratation des sols durant les périodes de stress hydrique.

L'accélération attendue des risques climatiques fera que l'assureur ne sera plus cantonné à un simple rôle d'« assureur-payeur » mais deviendra de plus en plus un assureur engagé et proactif dans sa stratégie de pilotage et de gestion des risques liés au changement climatique pour en limiter l'effet négatif sur ses expositions et sa sinistralité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

2. SWISS Ré, 2021. Natural catastrophes in 2020: secondary perils in the spotlight, but don't forget primary-peril risks. SIGMA Report, 34 p.

3. Caisse Centrale de Réassurance, 2018. Conséquence du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050, 32 p.

4. Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kröner N, Kotlarski S, Kriegsmann A, Martin E, van Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana J-F, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, and Weber B, 2014. EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. Regional Environmental change, 14, 563-578.

5. Vrac M, Drobinski P, Merlo A, Herrmann M, Lavaysse C, Li L, and Somot S, 2012. Dynamical and statistical downscaling of the French Mediterranean climate: uncertainty assessment. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 2769-2784.

6. Santer BD, Taylor KE, Gleckler PJ, Bonfils C, Barnett TP, Pierce DW, Wigley TML, Mears C, Wentz FJ, Brüggemann W, Gillett NP, Klein SA, Solomon S, Stott PA, Wehner MF, 2009. Incorporating model quality information in climate change detection and attribution studies. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106 (35) 14778-14783; DOI: 10.1073/pnas.0901736106.

7. Soubeyroux J-M, Vidal J-P, Najac J, Kitova N, Blanchard M, Dandin P, Martin E, Pagé C, Habets F, 2011. Projet CLIMSEC : Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol. Rapport final du projet, 72 p.

8. IPCC Report, 2012. Summary for Policymakers. In Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner G-K, Allen SK, Tignor M, Midgley PM. (eds.): 1–19. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY.

9. INSEE 2016. Projections de population 2013-2070 pour la France : méthode et principaux résultats. Document de travail n° F1606.

10. Gumbel EJ, 1954. Statistical theory of extreme values and some practical applications. Applied Mathematics Series, 33, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.

11. Meehl GA, Stocker TF, Collins WD, Friedlingstein P, Gaye AT, Gregory JM, Kitoh A, Knutti R, Murphy JM, Noda A, Raper SCB, Watterson IG, Weaver AJ, Zhao ZC, Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (Eds.), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2007).

12. Beniston M, Stephenson D, Christensen OB, Ferro C, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutokif J, Schöll R, Semmler T, Woth K, 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. Climate Change, 2007 - 81: 71-95.

13. Donat MG, Leckebush GC, Wild S, Ulbrich U, 2011. Future changes in European winter storm losses and extreme wind speeds inferred from GCM and RCM multi-model simulations. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 1351-1370.

14. Kjellström E, Nikulin G, Hansson U, Strandberg G, Ullerstig A, 2010. 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. Tellus A, 63A, 24-40.

15. Woollings T, and Blackurn M, 2012. The North Atlantic Jet Stream under Climate Change and its Relation to the NAO and EA Patterns. Journal of Climate, 2012 – 25 : 886-902.

16. Chang EKM, Guo Y and Xia X, 2012. CMIP5 multimodel ensemble projection of storm track change under global warming. Journal of Geophysical Research, 117, D23118, doi:10.1029/2012JD018578.

17. Zappa G, Shaffey LC, Hodges KI, Sansom PG, Stephenson DB, 2013. A multimodel assessment of future projections of North Atlantic and European Extratropical Cyclones in the CMIP5 Climate Models. Journal of Climate, 26(16), 5846-5862.

18. Spinoni J, Formetta G, Mentashi L, Forzieri G, Fezen L, 2020. Global warming and windstorm impacts in the EU, JRC PESETA IV Project – Task 13: 30 p.

19. Martinez-Alvaro O, Gray SL, Hart NCG, Clark PA, Hodges K, Roberts MJ, 2018. Increased wind risk from sting-jet windstorms with climate change. Environmental Research Letters, 13.

20. Vautard R, van Oldenborgh G-J, Otto FEL, Yiou P, de Vries H, van Meijgaard E, Stepek A, Soubeyroux J-M, Philip S, Kew SF, Costella C, Singh R, and Tebaldi C, 2019. Human influence on European wind storms such as those of January 2018. Earth System Dynamics, 10, 271-286.

21. Circulaire n°INTE1911312C, 2019. Procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle - Révision des critères permettant de caractériser l'intensité des épisodes de sécheresse-réhydratation des sols à l'origine de mouvements de terrain différentiels. Ministère de l'intérieur. https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/44648.

22. Pucik T, Groenemeijer P, Rädler AT, Tijssen L, Nikulin G, Prein AF, Meijgaard E, Fealy R, Jacob D, Teichmann C, 2017. Future changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble. Journal of Climate, 30, 6771-6794.

23. Rädler AT, Groenemeijer P, Faust E, Sausen R, 2018. Detecting severe weather trends using and additive regressive convective hazard model (AR-ChaMo). Journal of Climate, 57, 569-587.

24. Rädler AT, Groenemeijer P, Faust E, Sausen R, Pucik T, 2019. Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21th century due to rising instability. Climate and atmospheric science, 2:30.

25. Fédération Française de l'Assurance, 2016. Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2040, 36 p.

AUTEURS

Gilles ANDRE (RiskWeatherTech)

Romain MARTEAU (Covéa)

CONTRIBUTEURS

Blandine L'HEVEDER (RiskWeatherTech)

Charles DUMARTINET (Covéa)

Thibault MONNET (Covéa)

Emmanuel MOREAU (Covéa)





Conception réalisation : idcomm.fr - Janvier 2022. Crédits photographiques : Adpbe Stock - Freepik - Unsplash.com.